
تشغيل وصيانة
محطات
تنقية المياه

الفهرس

فهرس الأشكال

فهرس الجداول

1 مقدمة : أهمية المياه للحياه

لا جدال في أن الهواء والماء هما روح الحياة علي ظهر الأرض فلقد خلق الله الهواء حراً طليقاً يحيط بالكرة الأرضية لم يحرم منه مكان في البر و البحر، وهو وافر وفرة لا حد لها يغترف منه كل من يريد كيفما يحلو له فلا يحس أحد النقص أو الحاجة.

أما الماء فأمره عجيب على سطح الارض , إنه هو الأخر وافر وفره لا حد لها ؟ فعلى سطح الأرض يوجد حوالى 320 مليون ميل مكعب من الماء لكن 99% من هذا الماء مالح لا يصلح للشرب أو الزراعة أو الإستخدام الآدمي 0 وحتى هذا الواحد في المائة من الماء العذب مقسم قسمة غريبة على بقاع الأرض، فبعضها شاء الله سبحانه وتعالى أن يكون في سخاء شديد حتى يغرقه الماء و يغض به ، وبعضها تمسك عنه إمساكا مروعا يحترق إلى قطرة واحدة . وكثير من الأراضي الزراعية تروى بما يهطل عليها من ماء المطر و التي لا تظفر منه بالقدر الكافي فإنها هي التي تتطلب مدها بالماء وتبلغ مساحة الأراضي التي أمكن توفير الرى لها في العالم أجمع 238 مليون فدان فقط وهذه المساحة لا تزيد عن 2% من مساحة الصحارى التي لم يتهيئ لها الماء فعاشت جدباء قاحلة لا زرع فيها ولا حياة.

و الماء حقيقة أعظم مادة خلقها الله و دليل ذلك أنه لم يرد ذكر مادة في القرآن الكريم بتعداد ما ذكر الماء (ذكر الماء في ستين آية من آيات القرآن الكريم) ، ولقد كرمه الله فكان عرشه جل شأنه على الماء.

" وهو الذي خلق السموات و الأرض وكان عرشه على الماء ليبلوكم أيكم أحسن عملاً " (سورة هود – 7) ، ثم باركه فجعل منه صور الحياة كلها " وجعلنا من الماء كل شيء حي " (سورة الأنبياء –30) " والله خلق كل دابة من ماء " (سورة النور – 45) " وهو الذي خلق من الماء بشرا فجعله نسبا و صهرا وكان ربك قديرا " (سورة الفرقان – 54).

وكذلك ذكر الماء في مواضع كثيرة مختلفة مثل.

الماء وإحياء الأرض بعد موتها (الزراعة) , الماء ومثل الحياة الدنيا " إنما مثل الحياة الدنيا كمثل ماء أنزلناه من السماء فاختلط به نبات الأرض مما يأكل الناس و الأنعام ... الآية " (يونس-24) , سلوك الماء في الأودية و كينابيع في الأرض (المياه الجوفية و المياه السطحية) , الرياح و تكون السحب و سقوط الأمطار , الماء العذب الفرات و الماء الملح الأجاج ... و غير ذلك كثير .

كما تقوم حياة الكائنات الحية عامة على الماء "و الله خلق كل دآبة من مـــاء " (سورة النور – آية 45) وكذلك كان خلق الإنسان خاصة من الماء ، فالإنسان في بـدء خلقـه كـان من الماء " وهو الذي خلق من الماء بشرا فجعله نسبا و صهرا و كان ربك قديرا " (سورة الفرقان- الآية 54) ومعظم جسم الجنين ماء، و الطفل الرضيع إذا كان يزن 5 كجم فإن أربعة منها ماء . و تقل النسبة إلى نحو الثلثين من وزن جسم البالغ ، أي أن الماء يدخل في تكوين جسم الإنسان بنحو 67% ، وإذا فقد الإنسان 12% من هذه النسبة فسوف يتعرض للموت. فالماء يدخل و يخرج من جسم الإنسان ضمن العمليات الكيماوية و الفسيولوجية المختلفة لجسم الإنسان في نظام متقن وتوازن تام.

و مصادر الماء لجسم الإنسان هي ماء الشرب (و تمثل حوالي النصف أي 50 % من إحتياج الجسم)، والماء الموجود في الطعام ، كالخضر و الفاكهة وغيرها (وتمثل 33 % من إحتياج الجسم) أما الجزء الثالث (ويمثل 17 % من إحتياج الجسم) فمن حرق الجسم للسكريات و الدهون و النشويات المختزنة بالجسم، وعليه لا يستطيع الإنسان الحياة بدون الماء إلا أياماً معدودة.

فكما أن للماء أهمية عضوية (فسيولوجية) لصحة الإنسان ، فله أيضا أهمية نفسية (سيكولوجية) فكم يشعر الإنسان بالرضى حين يرتوى – بعد ظمأ – بكوب ماء بارد ، و كم يسعد حين يرتاح لنقاء و جودة الماء في إستخداماته الشخصية . يقابلها كم يكون عدم إرتياحه إذا إنقطع عنه الماء وهو يسعد بحمام ساخن بعد إرهاق يومه . وكم يسعد كل منا بلون النبات الأخضر و بلون مياه البحر الفيروزية و الزرقاء و لون ورائحة الزهور الجميلة و التي لولا الماء لما أمدتنا هذه الزهور بالألوان و الروائح الجميلة.

وكل الطعام الذي تراه يوميا على منضدة الغذاء (سواء كان الطعام منتج زراعى أو حيوانى أو حتى صناعى) لولا الماء لما وجد , فالزراعة أكثر الحرف إستخداما للماء (للرى)، و الحيوانات التي نأكل لحمها ونشرب لبنها لاتعيش بدون ماء ، وكل الصناعات تحتاج إلى الماء لإدارة محركاتها و ماكيناتها " فلينظر الإنسان إلى طعامه أنا صببنا الماء صبا ، ثم شققنا الأرض شقا ، فأنبتنا فيها حبا وعنبا و قضبا و زيتونا ونخلا و حدائق غلبا و فاكهة و أبا ، متاعا لكم و لأنعامكم " (سورة عبس- الآيات 24 إلى 32).

إن القيمة الحقيقية للماء تعنى فائدته للإنسان ، فهل يمكن حصر فوائد الماء للإنسان أكثر من إنه مصدر الحياة كما ذكر الله في القرآن " وجعلنا من الماء كل شئ حي " (سورة الأنبياء – الآية 30) إن القيمة الحقيقية للماء لا توزن بتكلفة الحصول عليه ، فالماء أغلى من أى ثمن فهو الحياة لما و لمن على

الأرض جميعا . و أن تقدير كل منا لقيمة الماء تشمل أهميته سواء على المستوى الشخصي أو على الاقتصاد الوطني أو الأمن القومي . و لقد أوصى القرآن بالحفاظ على الماء و أنه من رزق الله الذي يجب أن نشكره على وجوده ، فماذا يكون حالنا إذا غار الماء عنا " قل أرأيتم إن أصبح ماؤكم غورا فمن يأتيكم بماء معين " (سورة الملك – الآية30).

ولطالما تفنن الإنسان في الحصول على الماء العذب وتنظيم الإفادة الكاملة منه فبنى الخزانات وأقام السدود وأستن المقننات المائية حرصاً على كل قطرة من هذا الكنز الثمين. ولطالما إقتتل وإصطرع دفاعا عن موارده من الماء العذب أو أملا في اقتناص المزيد0 لكن المصادر الطبيعية للماء العذب لا تزيد عن واحد في المائة من جملة الماء المتاح في العالم ولاشك أن هذه الحصة الضئيلة من الماء العذب قد أخذت تقصر شيئا فشيئا عن أن تكفى بالحاجة المتزايدة إلى هذا الماء لتوفير العيش للأعداد المتضخمة من البشر وأنواع الحياة الأخرى على سطح الأرض، ولمواجهة الأغراض العديدة التي إبتكرها الإنسان الحديث والتي تتطلب كميات كبيرة من الماء العذب كالصناعة والغسيل وغيرها من الأغراض، ولقد كان من الطبيعي أن تتجه الأنظار إلى الإفادة من المعين الذي لا ينضب من ماء البحر لتحويل مياهه المالحة إلى مياه عذبة وفى هذا يجب أن نقول أن مشكلة الحصول على المياه العذبة هي بلا شك المشكلة الأولى للجنس البشري ولو أنها سبقت في الاهتمام بها بحوث الطاقة الذرية والأقمار الصناعية وان هذه المشكلة لو أتيح لها أن تحظى بالإعتمادات والإمكانيات التي تعتمد لبحوث الذرة والفضاء لفاضت بالخير والبركة علي الشعوب الجائعة والمحرومة و لكانت العامل الحاسم في القضاء على أعداء الإنسانية من الفقر والجهل والمرض.

2 الماء علي الأرض وفي الوطن العربي ومصر

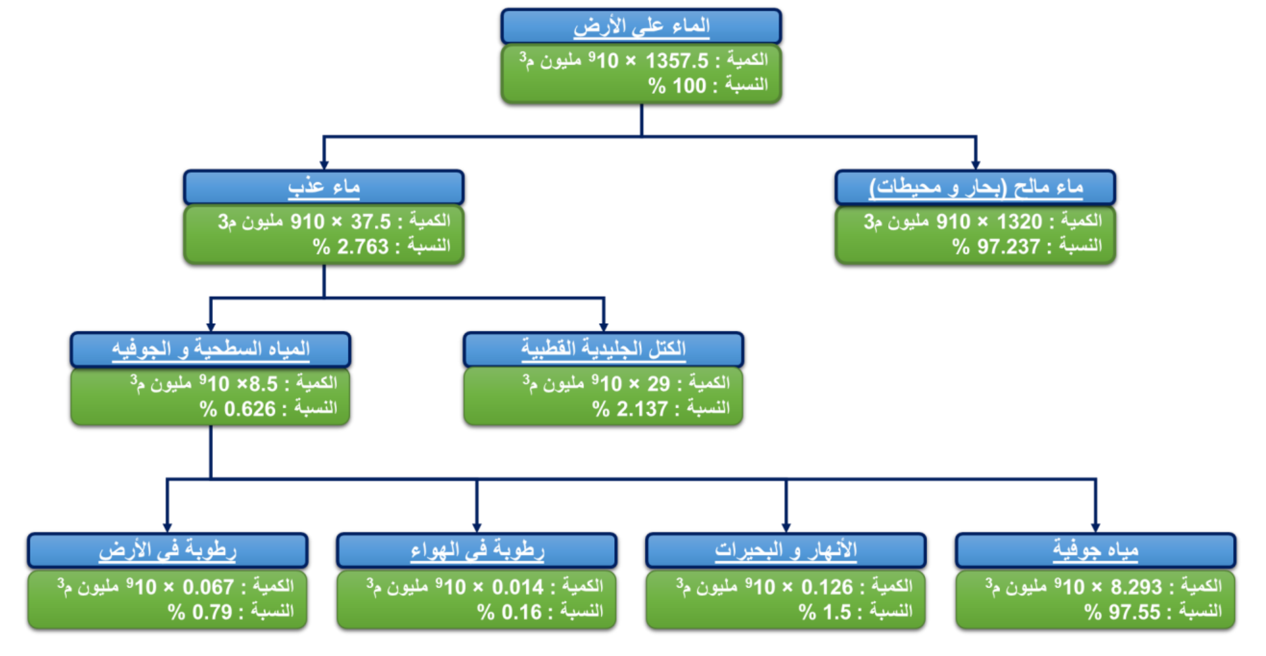
2.1تواجد الماء علي الأرض

يغطي الماء الموجود علي الأرض أكثر من 70% من مساحتها , ويقدر بحوالي 1357.5مليون كيلو متر مكعب) أي 1.357×10^{12} مليون متر مكعب، والماء علي الأرض – كما سبق ذكره إما عذب فرات سائغ شرابه و إما ملح أجاج والماء المالح (في البحار والمحيطات وغيرها) يمثل حوالي 97.3 % والباقي (2.7%) ماء عذب , والذي يقدر بحوالـي 37.5 مليون كيلو متر مكعب) أي 37.5×10^{9} مليون متر مكعب، شكل رقم 2-1 . ومن هذه النسبة الصغيرة من الماء العذب (2.7%) فان 1% منها فقط (أي 0.027% من الماء الكلي علي الأرض) متاح للإستخدام المباشر للإنسان (كالأنهار والبحيرات العذبة)، بينما الباقي من الماء العذب مخزون للإنسان إما علي صورة مياه جوفية (حوالي 24%) أو كتل جليدية بأقطاب الأرض (75%).

والماء العذب علي الأرض يكفي إحتياج البشر (بتقدير الله سبحانه و تعالى) .وقد ترك الله للإنسان جهد الكشف والإستغلال الأمثل للماء (وجميع الموارد الطبيعية) وكما سبق ذكره فإن الله خلق الأرض (وقدر فيها أقواتها – في أربعة أيام – سواء للسائلين) ، سواء (أي عدلا) للسائلين (أي المجتهدين للحصول عليها). إلا أن الماء العذب الساقط علي الأرض لا يمكن الإستفادة منه كله، كما أن توزيع مصادر هذا الماء لا يتوافق مع توزيع تواجد سكان العالم بالإضافة إلى الجزء السلوكي الغير سوي (وهو الطمع وحب التملك والسيطرة) لبعض سكان العالم، وهنا تبدأ المشكلة.

2.2تقسيمات المياه علي الأرض

يمكن تقسيم الماء على الأرض حسب تواجده إما إلى مياه سطحية أو جوفية, شكل رقم 2-2 والمياه السطحية قد تكون ساكنة كالبحيرات أو متدفقة كالأنهار والروافد . وتتميز المياه السطحية – بوجه عام – بإرتفاع نسبة المواد العالقة (العكاره) كالطمي , مع قلة نسبية في المواد والأملاح الذائبة. في حين أن المياه الجوفية تكون أقل عكاره (حيث يتم ترشيحها خلال مرورها بطبقات الحصى والرمال بالأرض) , لكنها قد تكون أكثر ملوحة من المياه السطحية حيث يذيب الماء كميه أكبر من الأملاح أثناء تسربه خلال التربة بطبقات الأرض المختلفة.

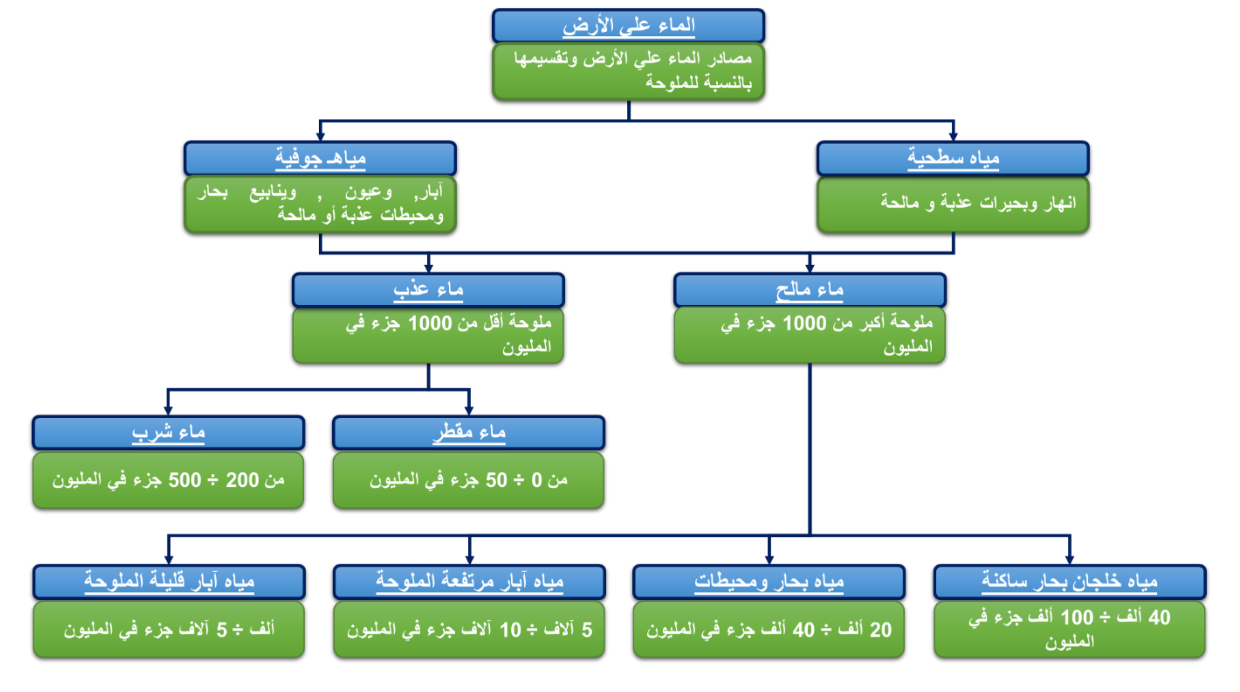


شكل رقم 2-1: كميات ونسب المياه علي الأرض

كما يمكن تقسيم الماء علي الأرض حسب ملوحته إلى قسمين أساسيين , هما الماء العذب , والماء المالح , الماء العذب (fresh water) تتراوح نسبة الملوحة فيه من صفر (الماء المقطر) وحتى 1000 جزء في المليون . والماء المالح إما أن يكون ماء الآبار متوسطة الملوحة , أو ماء البحار شديدة الملوحة . أما مياه الآبار (brackish water) فتتراوح نسبة الملوحة فيه من 1000 وحتى 5000 جزء في المليون (ماء آبار منخفضة الملوحة), ومن 5000 إلى 10000 جزء في المليون (ماء أبار مرتفع الملوحة). بينما تتراوح نسبة الملوحة في ماء البحر (sea water) من 30000 وحتى 100000 جزء في المليون , حيث تزداد الملوحة في الخلجان والبحار الميتة (حيث لا روافد للأنهار والأمطار) .

2.3الدورة المائية (Hydrological cycle)

الدورة المائية تعني المراحل والأطوار المختلفة التي يمر بها الماء في تحوله بين ماء البحر المالح إلى ماء عذب و تساعد الدورة المائية علي حصول البشرية علي حاجتها من الماء العذب أو المستخلص من الماء المالح في البحار والمحيطات. والدورة المائية تمثل بذلك أكبر محطة لإعذاب الماء المالح " التحلية " (خلقها الله للبشر جميعاً) .



شكل رقم 2-2 : تقسيمات المياه علي الأرض بالنسبة لملوحتها

والشكل رقم 2-3 يبين الدورة المائية علي الكرة الأرضية. وفيها يتبخر في السنة الواحدة حوالي (383×1210 م3) من ماء البحار والمحيطات وكذلك حوالي (62×10^{12} م^3) من ماء الأرض الرطبة نتيجة سقوط أشعة الشمس و هبوب الرياح .ويرتفع بخار الماء لأعلي مع تيارات الهواء الصاعدة نتيجة لإرتفاع درجة حرارتها ، حتى تصل إلي طبقات عليا من الغلاف الجوى . و تتكثف هذه الأبخرة علي هيئة سحب وتسير إلى المكان الذي يأذن الله لها به . تبرد السحب وتفقد حرارتها وتسقط لأسفل بقوة الجاذبية علي صورة أمطار (أو جليد حسب درجة الحرارة) .ويسقط حوالي (346×10^{12} م^3) من الماء مرة ثانية علي المحيطات بينما يسقط علي اليابسة ليكون الأنهار والبحيرات. ويتسرب جزء من الماء الساقط علي اليابسة خلال التربة ليكون الآبار والمياه الجوفية .ويعود الجميع ثانية إلى البحار والمحيطات , وهكذا تتكرر الدورة المائية .



شكل رقم 2-3: دورة المياهـ علي الأرض.

2.4إحتياجات الإنسان من الماء العذب

تقدر الأمم المتحدة أن الحد الأدنى لمتوسط إحتياج الإنسان من الماء العذب حوالي 1000 متر مكعب في السنة. ونسبة بسيطة من الماء يستخدم للشرب و الإستخدام المباشر للإنسان , والباقي هي إحتياجات الزراعة والثروة الحيوانية , والصناعة اللازمة لتوفير إحتياجات الإنسان من عناصر الحياة المختلفة , وعلي سبيل المثال فإن كيلو اللحم للإنسان يحتاج إلى عدة أمتار مكعبة من الماء اللازم لحياة الحيوان (من ماء الشرب والماء اللازم لزراعة غذاء للحيوان) من ناحية أخرى يحتاج فدان القمح إلى كمية من ماء الري تعادل حوالي 5500 م^3 من الماء وذلك لإنتاج 3.5طن من القمح (أي أن واحد كيلو جرام من القمح يحتاج إلى حوالي 1.6م3 من ماء الري) هذا بالإضافة إلى إحتياج العاملين والماكينات والمحركات اللازمة لنقل وطحن وتغليف هذا القمح وتحويله إلى خبز للإنسان . كذلك يحتاج فدان الذرة إلى 8500 م^3 من ماء الري وذلك لإنتاج 5 طن من الذرة (1كيلو جرام ذرة يحتاج إلى 1.7 م^3 من الماء)، في حين أن فدان من نبات الفاصوليا يحتاج إلى 4000 م^3 من الماء لإنتاج 2.5 طن (1 كيلو جرام من نبات الفاصوليا يحتاج إلى أيضا 1.6 م^3 من ماء الري)

ويجتهد علماء الزراعة لتقليل معدلات الإستهلاك للنباتات بطرق ري حديثة ، أو بحث إمكانية إستخدام مياه مرتفعة الملوحة نسبياَ لري أنواع معينة من الزراعات ، كما توجد تقنيات حديثة تقلل من تأثير الأملاح (أيونات الأملاح) علي التربة بحيث لا تؤثر سلباَ علي النبات إثناء إمتصاصه للماء لحين صرفها في مصارفها.

وهكذا يحتاج الإنسان في المتوسط إلى 1000متر مكعب من الماء سنوياَ لشربه وغذائه و إستخدامات حياته المختلفة . أما من حيث الإستخدام المباشر للإنسان من الماء فيقدر إحتياج الفرد من 200 إلى 500 لتر يومياَ (75 – 200 م^3 سنوياَ) وفي حالة الإنسان العادي فإن الـ 200 لتر من الماء تقسم كالتالي : 2 لتر للشرب، 15 لتر لتحضير الطعام ، 13 لتر للصحة العامة (الوضوء وغسيل اليدين) ، 90 لتر للإستحمام ، 80 لتر لطرد فضلات الحمامات ،الجدول 1-2 .

جدول 1-2 : متوسط إحتياج الانسان للإستخدام المباشر من الماء يومياَ.

م	الاستخــــــدام	الكمية (لتر/يوم)
1	للشرب	2 لتر
2	لتحضير الطعام	15 لتر
3	للصحة العامة (الوضوء وغسيل اليدين)	13 لتر
4	للإستحمام	90 لتر
5	لطرد فضلات الحمامات	80 لتر
6	المجموع	200 لتر

2.5وضع الماء العذب في العالم

إن توزيع مواقع الماء العذب في العالم لا يتناسب مع بعض مواقع إقامة حياة البشر . ففي حين توجد بحيرات عظمي من الماء العذب في دوله كبيرة مثل كندا ، وأنهار وشلالات عذبة في البرازيل ، نجد دولاً كثيرة تفتقد الحد الأدنى من إحتياج الفرد من مصادر المياه العذبة وتتوزع كمية الماء العذب في العالم بنسب مختلفة من مكان لآخر (مثلها مثل معظم المواد الخام الطبيعية) . فهناك دول غنية بموارد المياه العذبة مثل البرازيل (18% من المياه العذبة في العالم) ، وروسيا (13%) ، والصين (9%) ، وكندا (9%) ، وأمريكا (8%) بينما لا يتجاوز إيراد نهر النيل (والذي يغطي إحتياجات عشرة دول علي جانبي النهر منها مصر) لا يتجاوز عن 0.3% من المياه العذبة في العالم . من ناحية أخرى ، تعاني دولاً كثيرة أخرى في العالم (أكثر من 80 دولة تمثل 53% من البشر) من شحة المصادر الطبيعية للماء العذب وتصل إلى حالات الفقر أو أشد من الفقر المائي , كما إنخفض نصيب الفرد علي مستوي العالم بمعدلات مرتفعة وصلت إلى 40% خلال الربع قرن الماضية .

2.6 .صراع القرن القادم سيكون حول الماء

بعد كل ما سبق إستعراضه بالنسبة لأهمية الماء للحياة و الحضارة الإنسانية و وضع الماء و توزيعه في العالم يتضح لنا لماذا تحتل مشكلة الماء إهتمام العالم أجمع بل هي أحد وأهم مشكلات القرن القادم وعليه يتوقع المحللون أن يكون الماء عنصر الصراع القادم (مثل ، بل أكثر من عناصر الثروات الطبيعية الأخرى)، نظراً لعدم توفره في أماكن الصراعات بالعالم و إهتمام العالم المتقدم بمشكلة المياه (سواء كانت المشكلة موجودة فعلاَ أو يقوم هو بإثارتها) هو إهتمام الرغبة في الهيمنة والتحكم وكذلك إهتمام تصنيع وبيع التكنولوجيا المختلفة أكثر منه إهتمام الحاجة ، في حين أن إهتمامنا يجب أن يكون إهتمام الحاجة الحالية والمستقبلية.

وكما سبق وذكرنا إنه علي الرغم من أن كمية الماء الساقطة على الأرض من الأمطار تكفي إحتياج البشر حالياً ومستقبلاً ، إلا إنه كثيراً ما تكون أماكن حياة البشر بعيدة عن مصادر المياه وهذا حال كثيراً من الدول العربية مثل دول الخليج وشمال أفريقيا . كما أن دول الشام (الأردن وفلسطين ولبنان وسوريا) لا تتوفر لديهم الموارد المائية الكافية . وتختلف دولاً مثل سوريا والعراق من ناحية وتركيا من ناحية أخرى علي حصص كل منهم من الماء الساقط علي جبال الأناضول . فتركيا تعتبر أن الماء مادة خام طبيعية مثلها مثل المواد الأخرى وسلعة لها تبيعها كما تبيع دول الخليج سلعة البترول ومن ثم تحجب الماء من التدفق الطبيعي لأهل العراق وسوريا . ومن هنا تنشب الخلافات والتي قد تتطور إلى صراعات غير معلنة أو حروب معلنة. وصراع الأكراد بالعراق جزء منه صراع علي الماء .و إعتراف الفلسطينيين (أو منظمة التحرير الفلسطينية علي الأقل) بإسرائيل يدخل به جزئيا موضوع تقسيم الماء، وحروب جنوب السودان وأثيوبيا والقرن الأفريقي وغيرها . بها التفاف غير معلن لمحاصرة الماء عن مصر. ومن ثم يتوقع الخبراء نشوب حرب في المنطقة إذا لم تتفق دولة المنطقة علي تقسيم عادل لمصادر المياه المتاحة.

و هنا تظهر الحاجة الماسة كما ذكر آنفا للبحث عن المصدر البديل و تمثل مياه البحار هذا المعين الذي لا ينضب و تظهر أهمية تقنية تحلية مياه البحر و أهمية زيادة معرفتنا و تطوير خبراتنا و تدريب كوادرنا في هذا المجال مما سيكفينا شروراً كثيرة مستقبلاً و يحفظ لنا إرادتنا الوطنية بإعتمادنا على أنفسنا في توفير ما نحتاجه من الماء العذب.

3 الخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء العذب والماء المالح

3.1خصائص الماء وطبيعته

أهم ما يميز الماء عن غيره من المواد كيميائياً هو ثبات المركب المكون للماء (H_2O)، يسخن الماء ويبرد ويتجمد ويتبخر ويستخدم كمذيب لمواد أخري ويتعرض لكافة التغيرات الكيميائية والفيزيائية ، ولكنه يرجع كما كان ماءاً سائلاً . في حين أن أكثر ما يستعمله الإنسان من مواد كالمعادن والكيماويات والوقود والمواد العضوية الأخرى تفقد ذاتيتها الأصلية بالأكسدة أو غيرها من المتغيرات ، ويتطلب إرجاعها إلي حالتها الأولي عناء كثيرا وخاصية ثبات الماء هذه هي التي تمكننا من إستخدام وسائل شتي وطرق متنوعة لتنقيته من الشوائب التي تعلق به أو تذوب فيه.

والخاصية الثانية الهامة للماء هي قدرته الفائقة علي الإذابة ، ويمكن للماء أن يذيب مواد صلبة وسائلة و غازية ، وينتج عن ذلك محاليل قد تحتوي علي المذاب في حالة تأين مثل كلوريد الصوديوم أو غير متأين كالأكسجين الذي يذوب في حالته الجزيئية ، وقدرة الماء الفائقة علي الإذابة هى التي تسبب إزدياد ملوحته وبالتالي تزيد من الحاجة إلي إزالة هذه الملوحة و سنستعرض الأن بعض الخواص الفيزيائية و الكيميائية للماء.

3.1.1 طبيعة الماء

إذا إستعرضنا الخواص الفيزيائية للماء من درجة تجمد ودرجة غليان نوعية وحرارة كامنة ، وقارنا هذه الخواص بمثيلاتها للمواد التي تتقارب مع الماء في أوزانها الجزيئية ، لوجدنا أن جميع خواص الماء أعلي بكثير مما يمكن التنبؤ به من وزنه الجزيئى إذا ما قورن بمركبات الهيدروجين الأخرى المشابهة . وإذا حاولنا تعليل ذلك فمن الضروري أن نرجع إلي التركيب الكيميائي للماء والترتيب الموضعي للذرات المكونة لجزيئه.

صحيح أن الماء ليس كله ($H_2^1\ O^{16}$) بل أنه خليط من مركبات تجمع بين الهيدروجين (H^1) والديوتيريوم (D^2) والتريتيوم (Tr^3) مع أي نظائر الأكسجين الثابتة (O^{16}, O^{17}, O^{18}) وأهم هذه المركبات هي ($H_2O^{17}, HDO^{16}, D_2O^{16}, H^2O^{16}, H_2O^{18}$) إلي جانب ($H_2O^{16}$) نجد أن المركبات الأخرى لا توجد إلا بكميات ضئيلة. ولهذا فمن الناحية العملية يمكننا أن نعتبر أن الماء يتكون من مركب واحد هو (H_2O^{16}) وعليه فيمكننا أن نقول أن الزيادة الطفيفة التي تترتب علي وجود المركبات الأثقل من (H_2O^{16}) لا يمكن أن تعلل الإرتفاع الكبير في الخصائص الفيزيائية للماء ذو الرابطة التساهمية بين ذرة (O) و ذرتى (H).

وإذا رجعنا للتركيب الفراغي لجزئ الماء نجد أن وضع ذرتي الهيدروجين بالنسبة لكل ذرة أكسجين هو أن الخطين الممثلين لقوة الجذب بين نواة الأكسجين ونواتي ذرتي الهيدروجين ليسا علي إمتداد واحد ولكنهما يكونان زاوية قدرها 104.5 ° درجة شكل رقم 3-1 وهذا يعطي جزئي الماء خاصيته القطبية الثنائية والناتجة من أن ذرة الأكسجين كبيرة الحجم تجذب إلكترونات التساهم بدرجة أكبر من ذرتي الهيدروجين . والتي يترتب عليها أن الجزئ يصبح وكأنه مغناطيس ذو قطبين (dipole nature) أحدهما موجب ناحية ذرة الهيدروجين والأخر سالب ناحية ذرة الأكسجين طبقا للرسم ومن ثم يتقارب القطب الموجب لأحد الجزيئات بالقطب السالب لجزئ أخر ويتكون عن ذلك رابطة بين الجزيئين تسمي الرابطة الهيدروجينية (Hydrogen bond) ونتيجة لتكون مثل هذه الروابط الهيدروجينية تكون جزيئات الماء تجمعات (Clusters) في كل منها علي الأقل خمس جزيئات من جزيئات الماء وتعزي كثير من الخواص الفريدة للماء لخاصية القطبية الثنائية ولوجود جزيئاته علي هيئة تجمعات.

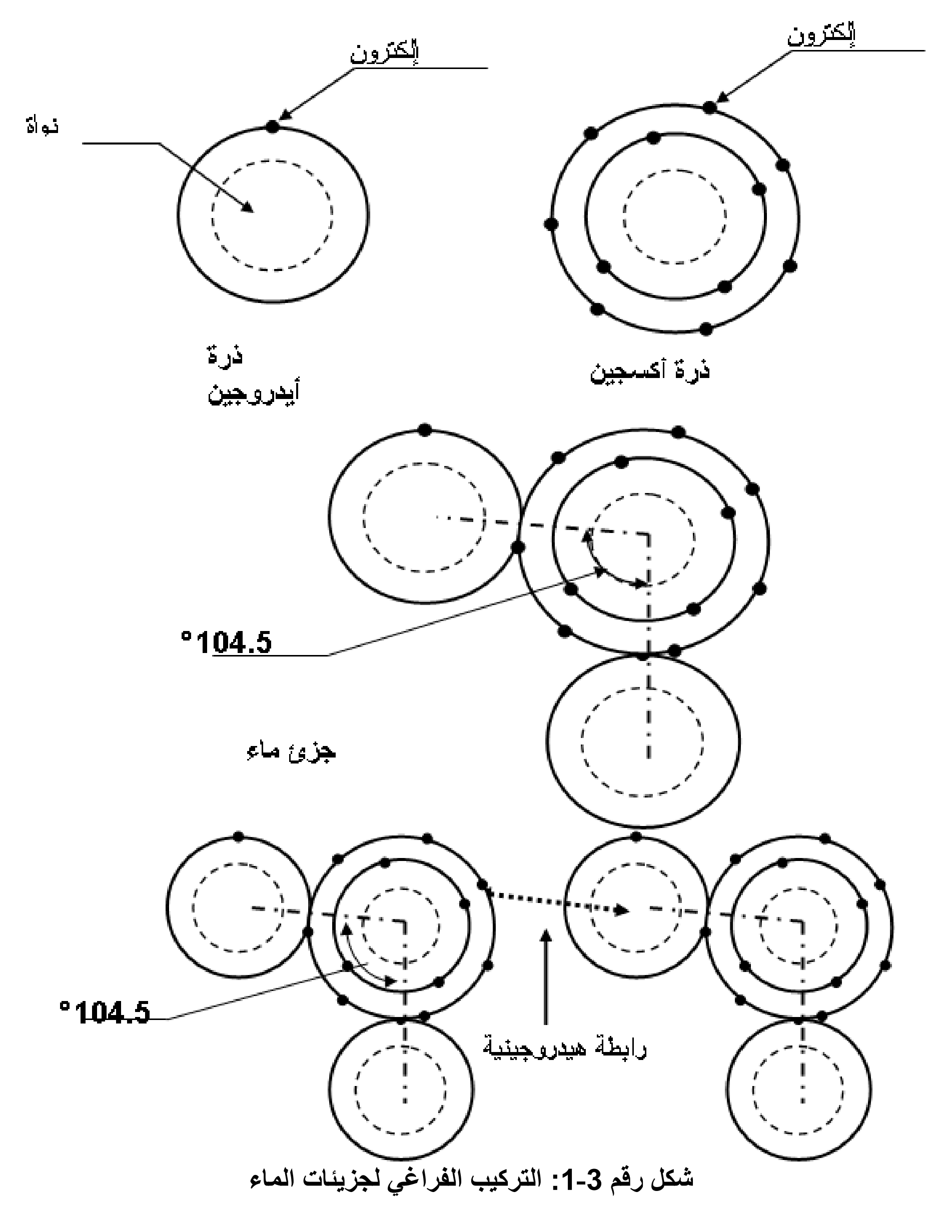
3.1.2 جزئ الماء

يتكون جزئ الماء من إتحاد ذرتي الأكسجين والهيدروجين في تفاعل طارد لكمية هائلة من الطاقة ومصدر تلك الطاقة هو إعادة ترتيب الإلكترونات بين العنصرين والتي يتم فيها نقل الكترونين غير متحديين من ذرة الأكسجين إلي الأوربتيلات الجزيئية المتحدة وتكون الأوربتيلات المترابطة في جزئ الماء علي زاوية قدرها 104.5 درجة من بعضها كما ذكر آنفا و كما هو واضح في شكل رقم 3-1.

وعندما يتم تعريض الماء لقطبين كهربائين معزولين فإن جزيئات الماء توجه نفسها لتقليل فرق الجهد بين قطبي الكهرباء ولذلك فإن للماء معامل توصيل كهربي عالي مما يعطيه ميزة أنه مذيب جيد للمواد المتأنية كما سيتم شرحه فى بند رقم 3.1.5 .

3.1.3 الماء مركب كيميائي ثابت

عندما يتكون جزئ الماء بإتحاد ذرتي الأكسجين والهيدروجين ينتج عن ذلك طاقة تساوى 286 ك جول/مول و التفاعل المباشر يكون مصحوبا بإنفجار شديد ويمكن إجراء هذا التفاعل في درجة الحرارة العادية في ظروف يمكن التحكم فيها وذلك عن طريق خلية تحليل كهربائية والتي تتكون من زوج من الأقطاب الكهربائية ومحلول إلكتروليتي وغشاء تبادل أيوني ومجهزة بحيث يتحد كل من غاز الأكسجين والهيدروجين وينتج طاقة كهربائية تبلغ 237 كجول/مول وهذه الطاقة الهائلة المتحررة من التفاعل تدل علي أن الماء مركب ثابت كيميائياً حيث أنه لا يمكن إنفصال مكوناته فى الظروف العادية ثانياً الأمر الذي يحتاج إلي طاقة هائلة.



شكل رقم 3-1: التركيب الفراغي لجزيئات الماء

ويمكن تحلل الماء بالفلزات القاعدية مثل الليثيوم والصوديوم والبوتاسيوم وتعطي هيدروجين غاز وهيدروكسيد الفلز ويمكن للماء التفاعل مباشرة مع الفلزات القاعدية الأرضية مثل : الكالسيوم والإسترانشيوم والباريوم وبعض الفلزات النشطة كالحديد وفي هذا التفاعل يعمل الماء كعامل مؤكسد. وفي درجة الحرارة العادية فإن الماء له توصيل كهربي صغير مما يدل علي أن هناك بعض التحلل لأيونات الهيدروجين والهيدروكسيد.

ولكن هذا التحلل محدود جداً فقد يتحلل جزئ واحد من كل 555.000.000 جزئ للماء.

3.1.4 التحلل الأيوني للمياه

إن جزيئات الماء تتحلل إلي كل من أيون الهيدروكسيل وأيون الهيدروجين والتي تندمج بقوة في باقي جزيئات الماء الغير متحللة فأيون الهيدروجين لا يوجد منفصل في الماء السائل بل يوجد علي صورة H3Oويسمي أيون الهيدرونيوم .

وفي درجة الحرارة العادية فإن توصيلية الماء النقي للكهرباء هي 0.056 ميكروسيمنز/سم أي ما يعادل من 10-14 مول / لتر من تركيز كل من أيون الهيدروكسيل و الالهيدرونيوم.

وبتطبيق قانون فعل الكتلة علي التحلل الأيوني للماء فإن ثابت التحلل الأيوني للماء (K_w).

وهو يعادل 10-14 مول / لتر ، عند درجة حرارة 25° م.

3.1.5 المقياس اللوغارتمي وتركيز أيون الهيدروجين (p Scale & pH)

لمادة ما يتم التعبير عن التركيزات الصغيرة للأيونات وثابت الإتزان بإستخدام مقياس اللوغاريتم السالب والذي يسمي مقياس (p) وكمثال فإن ثابت التحلل الأيوني (K_w) يمكن التعبير عنه ($p\ K_w$) حيث:

واللوغاريتم المستخدم هو لوغاريتم عام للأساس 10 فعند درجة حرارة 25° م يكون:

فكلما قلت (K_w) زادت ($p\ K_w$) ويستخدم المقياس اللوغارتمي لقياس أيون الهيدرونيوم في الماء أو المحاليل المائية ويسمي (*pH*) والتعريف الدقيق لـ (*pH*) هو اللوغاريتم السالب للنشاط الديناميكي الحراري لأيون الهيدروجين (هيدرونيوم) في المحاليل المخففة ويساوي تركيز المولات / اللتر فعند درجة حرارة 25° م فإن تركيز أيون الهيدرونيوم (الهيدروجين في الماء النقي يكون:

وهي حالة التعادل الحمضي القاعدي للماء عند درجة الحرارة هذه فإذا أضيف حامض لهذا المحلول المتعادل فإن تركيز أيون الهيدرونيوم (H_3O) يزداد و (*pH*) تقل وحيث أن الناتج الأيوني (K_W) يظل ثابتا فإن أيون الهيدروكسيد (OH) يقل وعند إضافة قاعدة للماء فإن أيون (OH) يزداد وأيون الهيدرونيوم (الهيدروجين) يقل ليظل الناتج الأيوني ثابتا K_W وبالتالي فإن (*pH*) تزداد.

ويمكن تلخيص ما سبق لأي محلول مائي طبقاً للجدول 3-1.

جدول 3-1: تصنيف الحامضية والقاعدية للمحلول المائي.

الوسط الحامضي	المتعادل	الوسط القلوي

3.1.6 الخواص الفريدة للماء

إذا قورن الماء بغيره من المواد التي لها نفس الوزن الجزيئي فإنه يتضح أن أغلب خصائص الماء لا تتفق مع تدرج هذه الخواص مع الوزن الجزيئي ، ومن أهم الخواص الفريدة هذه:

- إرتفاع درجة التجمد .
- إرتفاع درجة الغليان .
- كبر الفرق بين درجة التجمد ودرجة الغليان .
- إرتفاع الحرارة الكامنة اللازمة للتبخير .
- إرتفاع التوتر السطحي .
- إنخفاض كثافة الماء فنظرياً كان يجب أن تكون كثافة الماء 1.84 جم / سم^3 ولكنها في المتوسط تكون 1 جم/ سم^3.

وهناك درجتان حرارة عند كل منهما يظهر للماء خصائص فريدة:

فعند درجة 4° م تصل كثافة الماء إلي أقل قيمة لها ، وعند درجة 35 ° م تصل حرارته النوعية إلي أقل قيمة لها، وعند درجات حرارة أعلي من 35° م لا تتأثر اللزوجة بإرتفاع الضغط.

3.1.7 قدرة الماء علي إذابة المواد

عندما تذوب مادة مثل كلوريد الصوديوم فإن كل من أيون الصوديوم وأيون الكلوريد يحاط بمجموعة من جزيئات الماء وتحبسه هذه داخلها فيما يشبه القفص بواسطة الروابط الهيدروجينية . وتعمل القطبية الثنائية علي أن تصطف جزيئات الماء المحيط بأيون الكلوريد فتكون ذرات الهيدروجين بها موجهة إلي

الداخل وتمنع هذه الأقفاص الجزيئية أيوني الصوديوم و الكلوريد من التقارب وعودتهما إلي تكوين جزئ من كلوريد الصوديوم، وتعود قدرة الماء الفائقة علي الإذابة إلي قدرته علي إبعاد الأيونات بعضها عن بعض.

3.1.8 إرتفاع الحرارة الكامنة للتبخر

لكي يتم التبخر يجب علي جزيئات الماء أن تتلخص من القوة التي تربطها مع بعضها ، ثم تتخلص من السطح منطلقة إلي الطور الغازي الملامس لسطح السائل، ولما كان كل جزئ من جزيئات الماء مرتبط علي الأقل بأربعة جزيئات أخري بواسطة الروابط الهيدروجينية فإن وصول الماء من الطور السائل إلي الطور الغازي يحتاج إلي قدر كبير من الطاقة لكي يتغلب علي الروابط الهيدروجينية . وإذا عرفنا أن الحرارة الكامنة لتبخير الماء حوالي ضعف الحرارة الكامنة لتبخير النوشادر NH_3 أو كبريتيد الهيدروجين H_2S لأدركنا الأثر الكبير للروابط الهيدروجينية . والجدول 3-2 يبين بعض الخواص الفيزيائية للماء.

جدول 3-2 : بعض الخواص الفيزيائية للماء.

م	الخـــــــــواص	القيـــمة
1	التركيب الجزئي	H_2O
2	الوزن الجزئي (كجم / مول)	18
3	الحرارة النوعية (كيلو جول / كيلو جرام . درجة مئوية)	4.186
4	الكثافة (كجم / المتر المكعب)	998.6
5	اللزوجة الديناميكية (كجم / م.ث)	1.12×10^{30}
6	معامل التوصيل الحراري (وات / م . ث)	0.595
7	معامل الإشعاعية للسطح	0.955
8	درجة الغليان عن الضغط الجوي (م)	100
9	الحرارة الكامنة للتجمد (عند الضغط الجوي) كيلو جول / جم)	2256.9
10	درجة حرارة التجمد (عند الضغط الجوي) (م)	صفر
11	الحرارة الكامنة للتجمد (عند الضغط الجوي) (كيلو جول / كجم)	333.5
12	درجة الحرارة الحرجة (للماء والبخار) (م)	374.15
13	الضغط الحرج للماء والبخار (بار)	221.2

4 مبادئ وتعاريف تحلية المياه

4.1 تعاريف تحلية المياه

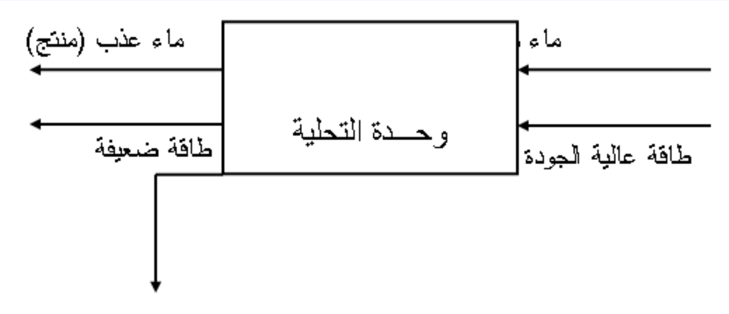
4.1.1 تحلية المياه

كلمة التحلية المتداولة بين الناس تعنى تحويل الماء المالح إلى ماء عذب (ماء حلو)، وهى عكس (ماء ملحي أو مالح). وقد تكون كلمة " تحلية " مشتقة من الكلمة الإنجليزية (Sweet Water) أي ماء " حلو " صالح للإستخدام . والمعنى العالمي والتعبير الأفضل علمياً والمستخدم كثيراً هو كلمة إزالة الملوحة (Desalting)، لأن العملية تعنى فعلاً إزالة (أو تقليل) الملوحة من الماء المالح ليتحول إلى ماء حلو أو عذب، والكلمة الأفضل لغوياً هي كلمة "إعذاب الماء" ، أو أحيانا تستخدم كلمة تعذيب الماء . أي كما ذكر في القرآن جعله عذباً فراتا سائغ شرابه.

ومعنى تحلية الماء ، أو إعذاب الماء ، أو إزالة الملوحة هي تحويل الماء المالح إلى ماء عذب لذا أحيانا تسمى هذه العملية عملية تحويل (Conversion process) ، وأحيانا تسمى عملية فصل الملح (Salts Separation) أي فصل الملح (من الماء المالح) ليكون الباقي ماء عذب صالح لإستخدام الإنسان وغير ضار بصحته . وبالنسبة العادية والمتداولة لملوحة ماء الشرب هي حوالي من 300-600 جزء في المليون من الأملاح الذائبة، والحد الأقصى المسموح به عالمياً هو 1000 جزء في المليون (راجع مواصفات مياه الشرب بالفصل الأول) . والشكل رقم 4-1 يوضح بوجه عام عملية التحلية ، حيث يدخل الماء المالح بالإضافة إلى الطاقة اللازمة (ذات مستوى طاقة مرتفع . مثل الطاقة الكهربية أو الحرارية)، وينفصل الماء العذب ويجمع ويخرج كمنتج (Product Water) أما المحلول الملحى المركز (Brine) الباقي من العملية فيطرد كمحلول طرد (صرف (Rejected Brine Or Blow Down).

4.1.2 المعالجة الأولية

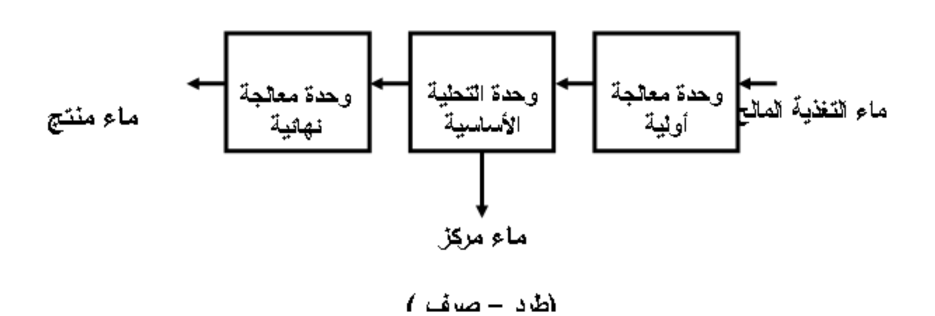
وجدير بالذكر أن ماء التغذية المستخدم في كل تكنولوجيات التحلية يحتاج لعمليات معالجة أولية (Pre-treatment) للماء لإزالة المواد العالقة (من الطمي والرمال وغيرها) ، وكذلك إزالة الغازات الذائبة ، وقتل والتخلص من الأحياء المائية الدقيقة (كالفطريات والبكتريا والطحالب). وتساعد عملية المعالجة الأولية لماء التغذية على المحافظة على وحدة التحلية من التآكل و الصدأ، ومن تكون الرواسب (على أسطح الوحدة الحرارية ، أو على الأغشية).



شكل رقم 4-1 : عملية التحلية (إزالة الملوحة / فصل الملح / إعذاب الماء).

4.1.3 المعالجة النهائية

يتم عمل معالجة نهائية للماء المنتج من وحدات التحلية (Post Treatment) لضبط الخواص الفيزيائية والكيميائية بما يناسب نوعية الإستخدام ،(فالماء اللازم للشرب يختلف عن الماء اللازم للعمليات الصناعية أو للغلايات البخارية مثلاً)، والشكل رقم 4-2 يبين المكونات الأساسية لمحطة التحلية.



شكل رقم 4-2 : المكونات الأساسية لمحطة التحلية.

4.1.4 الفرق بين كلمة التحلية (Desalination) وكلمة التقطير(Distillation)

كلمة (Desalination / Desalting) هي الكلمة العامة لإزالة الملوحة أو التحلية ويمكن تقسيم الكلمة إلي (De) أي إزالة ، ثم كلمة (Saline/ Salt) أي الملح أو المالح (الملحي) ، وعليه فكلمة (De-Salin) أو (De-Selt) تعني إزالة الملوحة، ويندرج تحت هذه الكلمة جميع طرق التحلية أو إزالة الملوحة . ومن هذه الطرق العديدة للتحلية ، طريقة فصل الماء العذب من الماء المالح

عن طريق تبخيره ثم تكثيفه . وتسمى هذه الطريقة بالتقطير (Distillation)، وعليه فطريقة التقطير (Distillation) هي إحدى طرق التحلية العامة (Desalination).

4.2نبذة تاريخية عن تكنولوجيا (تقنية) تحلية المياه

عرفت تكنولوجيا تحلية المياه منذ زمن بعيد، فقد كانت هناك حاجة مستمرة للمياه العذبة للسفن المبحرة في البحار والمحيطات والتي تقضي وقتا طويلاً بعيداً عن مصادر المياه العذبة . وحاول الإنسان بدلاً من حمل المياه علي سطح السفن ، أن يتم تحليتها من البحار بالتبخير والتكثيف (عملية التقطير لمياه البحر) وذلك بالإستفادة من حرارة العادم الخارج من محركات السفن أو مطابخها، وقد إستخدمت تكنولوجيا تحلية مياه البحر خلال القرن التاسع عشر بنجاح ضئيل بسبب التكلفة العالية لإنتاج الماء العذب . وتم تطوير تقنيات التحلية خلال الحرب العالمية الثانية، وذلك عندما إحتاجت مجموعات كبيرة من الجنود للمياه العذبة . ثم تبع الحرب العالمية سلسلة متوالية من التطوير، ودعم أبحاث التحلية حتى تطورت إلى ما هو عليه الآن. فقد طورت الوحدات الحرارية في الستينات ، وبدأ إستخدام الأغشية في السبيعنات . وفي الثمانينات صارت تقنيات التحلية من التقنيات التجارية والمناسبة إقتصادياً للعديد من التطبيقات.

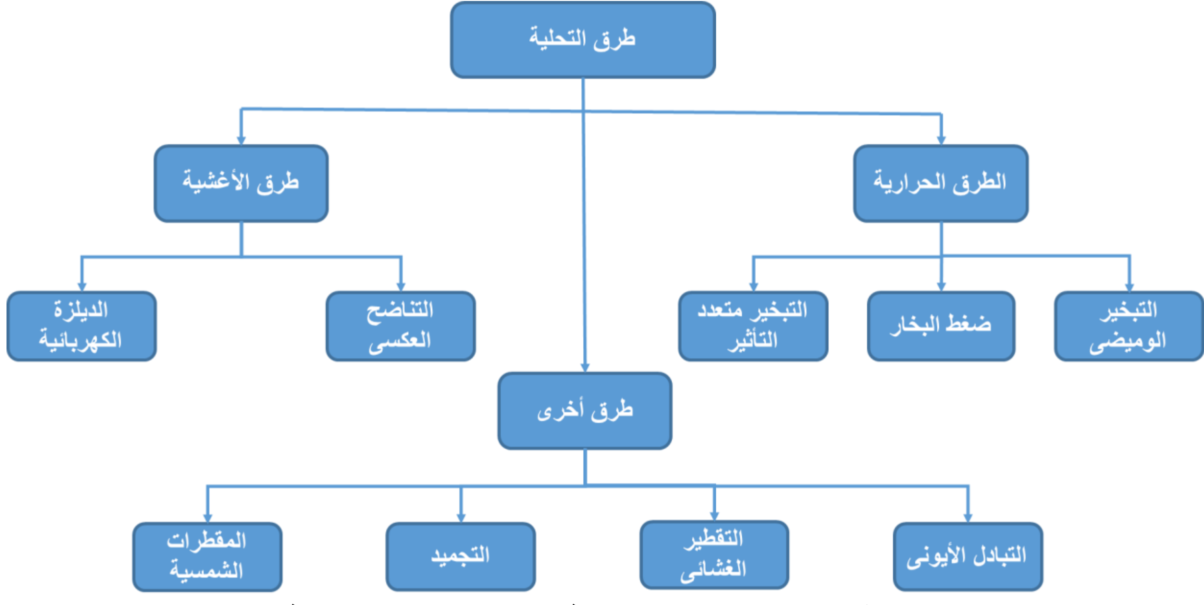
4.3التكنولوجيات المستخدمة لتحلية المياه

الشكل رقم 4-3 يوضح تقسيمات طرق التحلية ، وهي تنقسم بوجه عام إلى :-

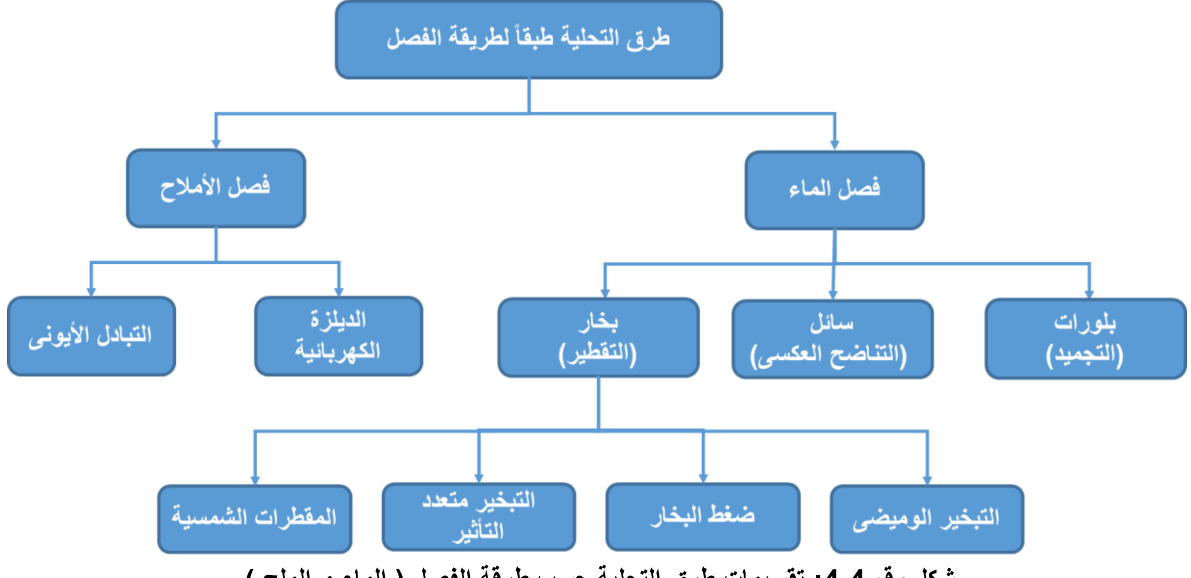
- الطرق الحرارية (التقطير) مثل
  - طريقة التبخر الومضي متعدد المراحل "Multi Stage Flash (MSF) "
  - طريقة التبخر متعدد التأثير " Multi Effect Desalination (ME / MED)"
  - طريقة ضغط البخار " Vapor Compression (VC)"
- طرق الأغشية مثل
  - طريقة التناضح العكسي " Reverse Osmosis (RO)"
  - طريقة الديلزه الكهربية " Electro Dialysis Reverse (ED/EDR)"
- طرق أخري مثل
  - طريقة التبادل الأيونى " Ion Exchange"
  - التقطير الغشائي " Membrane Distillation"

- طريقة التجميد " Freezing"
- المقطرات الشمسية " Solar Distillation"

كما تنقسم هذه الطرق أيضا إلى طرق فصل الماء العذب (عن المحلول المالح) ، أو طرق فصل الملح وترك الماء العذب. وذلك طبقاً للشكل رقم 4-4 الذي يوضح طرق تحلية المياه السابقة حسب تقسيمات فصل الماء أو فصل الملح.



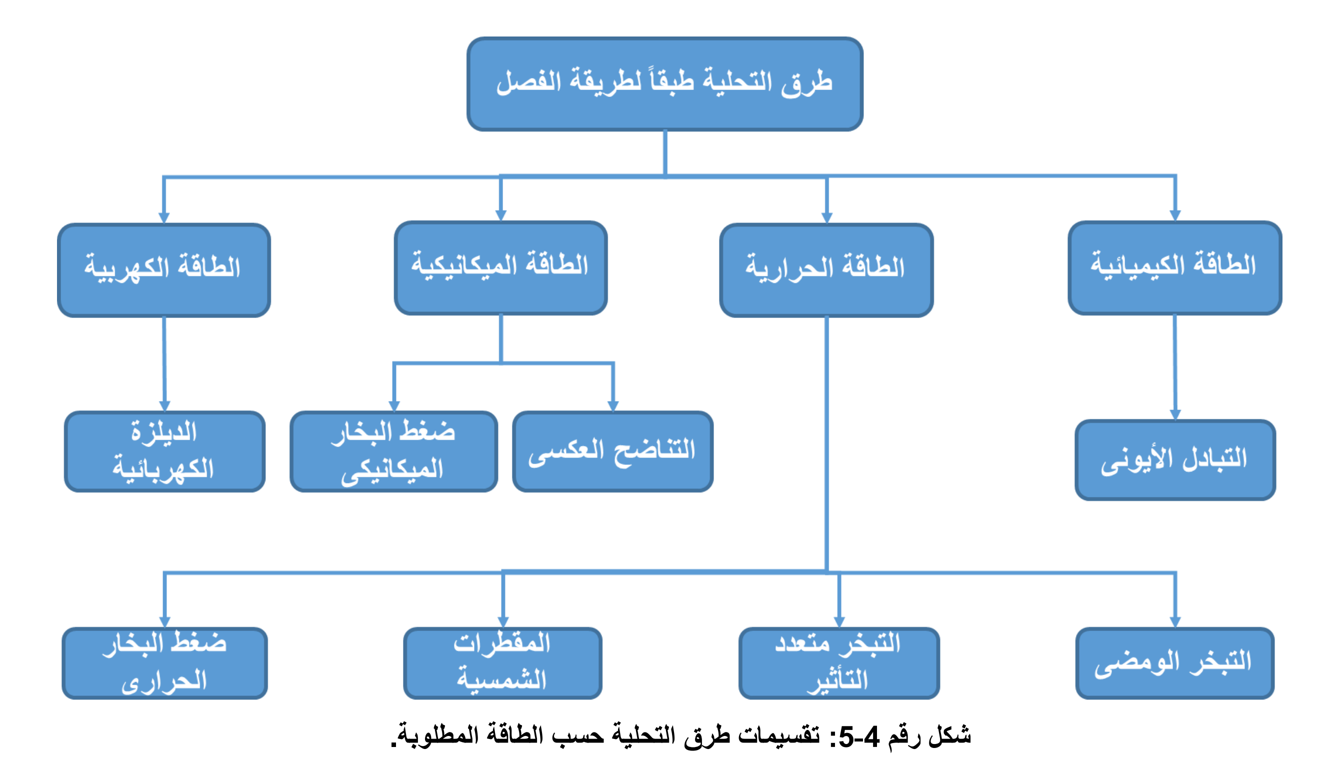
شكل رقم 4-3 : تقسيمات طرق التحلية حسب التكنولوجيا المستخدمة.



شكل رقم 4-4: تقسيمات طرق التحلية حسب طرقة الفصل (الماء و الملح).

4.4عوامل إستخدام كل نوع من تكنولوجيات التحلية

يتم إستخدام كل نوع من تكنولوجيات التحلية ، والتي سبق ذكرها ، حسب عدة عوامل منها التكاليف الإقتصادية لسعر الماء المنتج (أي بكم دولار ، أو جنيه ، أو ريال ، أو درهم ، أو دينار يكون سعر إنتاج المتر مكعب من الماء). كما تختلف إستخدامات تكنولوجيات التحلية حسب السعة الإنتاجية للوحدة ، وكذلك علي طبيعة ونسبة الملوحة في ماء التغذية (الماء المالح) للوحدة ، وكذا طبيعة وجودة الماء المطلوب إنتاجه . فمثلاً لمعالجة ماء خفيف الملوحة (حتى 500 جزء في المليون) يمكن إستخدام تكنولوجيا التبادل الأيونى . ولماء أكثر ملوحة مثل ماء الآبار قليلة الملوحة (500 جزء في المليون إلي 2000 جزء في المليون) يمكن إستخدام طريقتي التناضح العكسي ، أو الديلزة الكهربية . أما لماء الآبار مرتفعة الملوحة (ملوحة حتى 10.000 جزء فى المليون) فيفضل إستخدام تكنولوجيا التناضح العكسي . لكن للماء الأكثر ملوحة مثل ماء البحار و المحيطات (حتى 45.000 جزء في المليون) وللوحدات الكبيرة (حتى 50.000 م3/اليوم) فتستخدم الطرق الحرارية مثل التبخر الومضي متعدد المراحل والتبخر متعدد التأثير ، وضغط البخار.



شكل رقم 4-5: تقسيمات طرق التحلية حسب الطاقة المطلوبة.

وفي جميع هذه الطرق تحتاج وحدة التحلية إلي طاقة لإدارتها وعاده ما يكون مصدر هذه الطاقة هو الوقود البترولي (الوقود الهيدروكربونى كالفحم والنفط والغاز الطبيعي) . ويستخدم هذا الوقود لإنتاج البخار اللازم لإدارة التكنولوجيات التي تعمل بالطاقة الحرارية (تكنولوجيات التبخر الومضي أو التبخر المتعدد التأثير) ، أو تستخدم لتوليد الكهرباء لإدارة التكنولوجيات التي تعمل بالطاقة الكهربية (تكنولوجيات التناضح العكسي ، وضغط البخار والديلزة الكهربية) . أما الطاقات الأخرى مثل التحلية بالطاقة الشمسية ، فهي حتى الآن لم تصل إلى حد المنافسة في السعر الإنتاجي . الا إنه لظروف تحسين البيئة وكذلك في المناطق النائية والبعيدة عن شبكة الكهرباء وشبكة المد بالوقود البترولي فإن الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح قد تكون هي البديل الوحيد والأفضل . من ناحية أخرى فالطاقة النووية يمكن أيضا إستخدمها (بعد تحويلها إلي طاقة حرارية أو كهربية) لإدارة وحدات التحلية مثلها مثل الطاقة البترولية . والشكل رقم 4-5 يبين تقسيمات طرق التحلية حسب الطاقة المطلوبة . لكن علي القارئ أن يتذكر أن هذه هي الطاقة الأساسية لوحدة التحلية (أي فصل الماء عن الملح). وتحتاج محطة التحلية أيضا إلى مضخات لإدارة مياه التغذية ، والماء المنتج ، وماء الراجع ، وهذه المضخات تحتاج إلى طاقة كهربية أوميكانيكية لادارتها.

4.5إستخدام التحلية كبديل مع مراعاة تكلفة الإنتاج للمتر المكعب

إذا لم تتوفر مصادر المياه العذب الطبيعي في دولة ما (مثلاً بعض الدول العربية في الخليج ، وشمال أفريقيا)، أو في منطقة ما من دولة (مثل جنوب سيناء ، وساحل البحر الأحمر والساحل الشمالي الغربي في مصر مثلاً) ، فإنه إما أن تمد المنطقة بشبكة مواسير (أو أي طريقة أخرى) لنقل الماء العذب إلى مكان الإستخدام (ناقلات الماء البرية والبحرية) ، أو يتم بناء وحدة تحلية مياه للبحر أو تحلية مياه الآبار (إذا توفرت). والفيصل في هذين البديلين (نقل الماء أو تحلية المياه المالحة) هو سعر توصيل الماء للمستهلك .

ومازال العلماء والتكنولوجيين يتبارون في تحسين نوعية وإنتاجية وكفاءة وحدات التحلية بهدف خفض السعر الإنتاجي لينافس عمليات نقل المياه خاصة في المناطق البعيدة عن المصادر الطبيعية للماء العذب.

4.6تأثير تكنولوجيات التحلية علي البيئة

البيئة هي كل ما يحيط بالإنسان من هواء أو ماء أو تربة . والبيئة وحمايتها مسئولية كل فرد . والرسول صلى الله عليه وسلم أوصى بعدم تلويث الماء والتربة والهواء . والتلوث معناه إضافة عناصر غير مرغوب فيها سواء للهواء أو الماء أو التربة ، مما يسبب في النهاية إنعكاس سيئ على الإنسان (والحيوان والنبات). وموضوع البيئة هو مشكلة (وموضة) العصر فكمية الملوثات ونوعيتها سواء كانت صناعية أو زراعية قد زادت عن الحد، حتى إنها تكاد تؤثر على التوازن البيئي . وبالنسبة للتحلية فإن الناتج منها – بوجه عام – هو ماء مالح من نفس فصيلة الماء الداخل (وهو ماء البحر أو البئر) ، لكن بتركيز أعلى قليلا لذا فلا يوجد تلوث للبيئة من هذه الناحية (فلا توجد عناصر جديدة) . لكن صناعة التحلية مثلها مثل أي صناعة إذا إستخدمنا وقود لتسخين الماء وإنتاج البخار (أو توليد الكهرباء)، فإن عادم الإحتراق ومخلفات محطة تحويل الطاقة هو من الملوثات ، كذلك المخلفات الناتجة عن تنظيف مكونات وحدة التحلية من الرواسب Scale والتآكل corrosion، ومن الكيماويات المضافة لمنع الترسبات والتآكل ، يسبب أيضا تلوث (جزئي) للبيئة . وطرق معالجة ملوثات وحدة التحلية مثلها مثل معالجة معظم سوائل الصرف الصناعي ، سواء بإضافة كيماويات معادلة ، أو الترسيب أو التنقية بالفلاتر، ثم إعادة تصريفه إلى البحر أو حقنه في أبار، أو تجفيف الماء كاملاً حتى عادم صلب ثم دفنه. ويمكن تطوير وحدات التحلية لتستفيد من الطاقة المفقودة من عوادم المحركات (كالديزل والتوربينات الغازية waste heat recovery) أو إستخدام الطاقة الشمسية (solar energy) ، وطاقة الرياح (wind energy) أصدقاء البيئة، وهو ما يسمى بالطاقة المجانية ذات البيئة النظيفة (Clean Environment + Free Energy). كما يمكن مستقبلاً إستخدام طاقة الهيدروجين كوقود نظيف (فإحتراق الهيدروجين ينتج عنه فقط بخار ماء غير ملوث للبيئة)، وكل هذا يجب أن يدخل ضمن الإعتبارات الإقتصادية والفنية للتكنولوجيا المختارة للتحلية.

5 تحلية المياه بنظرية التناضح العكسى

5.1تكنولوجيا تحلية المياه بالأغشية

تعتمد تكنولوجيات تحلية المياه بالأغشية عن وجود قوة دافعة للماء ، أو الملح للإنتقال عبر غشاء شبه نفاذ يسمح بمرور أحد المكونات مع ترك العنصر الآخر (الماء فقط أو الأملاح فقط).

وتنقسم تكنولوجيات التحلية (التجارية) بالأغشية إلى عدة طرق أهمها طريقتي التناضح العكسي والديلزة الكهربائية. وتظهر كلتا الطريقتين القدرة علي فصل الملح عن الماء بكفاءة . وتستخدم الأغشية بطريقة مغايرة في كلتا الحالتين . ففي حالة التناضح العكسي ، يستخدم الضغط كقوة دافعة لعملية فصل الماء عن الملح من خلال الغشاء بحيث يمر الماء العذب من خلال الغشاء ، تاركاً خلفه الأملاح (المحلول الملحي).أما في حالة الديلزة الكهربائية، فيستخدم الجهد الكهربي كقوة دافعة لتحريك وجذب الأملاح من خلال الغشاء إلي جهة الأقطاب الكهربائية بحيث يترك الماء العذب كماء منتج . وقد تم تطوير كلتا الطريقتين منذ بداية القرن الحالي غير أنهما لم يستثمرا تجارياً إلا خلال الثلاثين سنة الماضية .وتعتبر عمليتي التناضح العكسي والديلزة الكهربائية حديثة بالمقارنة مع الطرق الحرارية ، حيث يتم تقديمها تجارياً خلال السبعينات (1970).

5.2التناضح العكسي

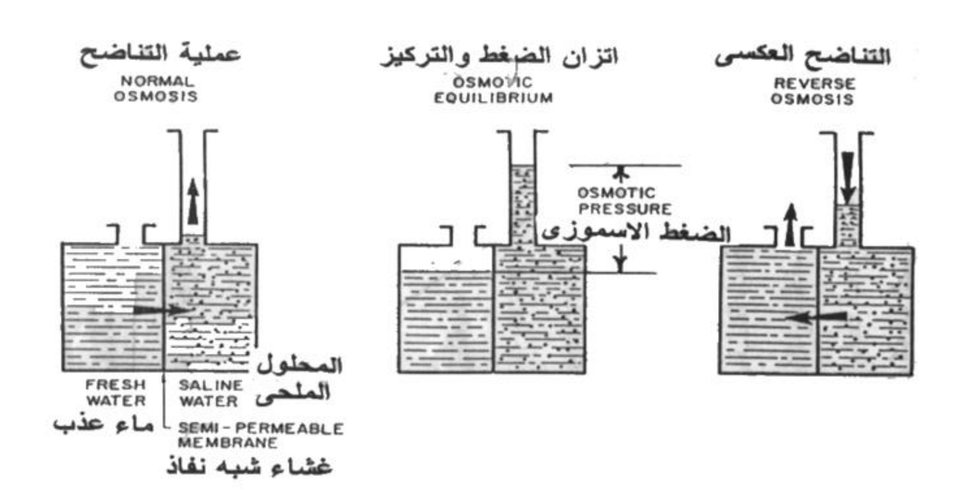
تلعب الأغشية في الطبيعة دوراً مهماً في فصل الأملاح . ولها تطبيقاتها في جسم الإنسان والحيوان والنبات . فأغلب عمليات إمتصاص العناصر الغذائية في الخلايا الحية لأجهزة جسم الإنسان والحيوان والنبات تستفيد من عملية التناضح . ومن الأمثلة الطريفة لعملية التناضح ، والتي يمكن للقارئ إجراءها ورؤية نتيجة هذه العملية هي عمل تجويف في أحد ثمرات البطاطس ووضع كمية من ملح الطعام الجاف داخل التجويف . سيجد القارئ إمتلاء التجويف بالماء المالح . أي أن الماء العذب أنتقل من خلال أغشية خلايا ثمرة البطاطس إلى الملح (أي من الجهة الأقل تركيزاً بالملوحة إلى الملح الأكثر تركيزاً بالملوحة) ، وهذه هي عملية التناضح. وتعرف عميلة التناضح العكسي بأنها عملية إنتقال عكسي للماء العذب من المحلول الأكثر تركيزاً إلى المحلول الأقل تركيزاً (إذا فصل المحلولين بغشاء شبه نفاذ) والغشاء الشبه نفاذ، هو الذي يسمح بنفاذ أو مرور عنصر دون آخر ، أي مثلاً يسمح بمرور الماء دون السماح للملح بالمرور أو العكس .

5.3وقت ظهور عملية التناضح العكسي

علي الرغم أن العملية الأسموزية كانت معروفة للكثير من منذ أكثر من مائة عام ، فإن تكنولوجيا إستخدام الأغشية لمعالجة المياه تعتبر حديثة وكان أول إعلان لإستخدام التناضح العكسي هي براءة إختراع بنفس الإسم لإزالة عسر الماء بإستخدام أغشية فيروسيانيد علي مثبتات مسامية من البروسلين . وفي سنة 1952 أنتج في جامعة فلوريدا أغشية من أسيتات السيليوز لتحلية الماء بالتناضح العكسي . وكان من عيوب الغشاء المستخدم ضعف معدل الإنتاج للماء العذب لسمك الغشاء (وكان هذا تقريبا وقت ظهور تكنولوجيا الديلزة (أو الفرز الكهربي). وفي الخمسينات تم تطوير الأغشية لزيادة معدل مرور الماء مع إرتفاع معدل طرد الملح . وتم في الستينات إنتاج الأغشية مثل الملفوفة حلزونياً ، أو علي صورة أنابيب وغيرها ثم ظهرت في السبعينات أغشية الشعيرات الدقيقة المجوفة من البوليميد مع إستقرار إنتاج أغشية أسيتات السيليوز . وقد كان تطوير الأغشية لإستخدامها لإزالة ملوحة المياه قليلة الملوحة أما الآن (ومنذ نهاية السبعينات) فقد تم تطوير الأغشية لتحلية المياه شديدة الملوحة كمياه البحر.

5.4كيفية إتمام عملية فصل الماء العذب بالتناضح العكسي

إذا وضعنا محلول ماء ملحي في جانب لغشاء شبه نفاذ والجانب الآخر ماء عذب ، فمن المعروف طبيعيا أن ينتقل (ينفذ) الماء العذب (الأقل تركيزاً) إلى المحلول الملحي (الأكثر تركيزاً) ، وذلك لإحداث التوازن أو التعادل في عملية التركيز . وهذه تعرف بعملية التناضح . ويستمر نفاذ الماء العذب في هذا الإتجاه ، وعليه يرتفع عمود المحلول الملحي لأعلي نتيجة زيادة كمية الماء بالمحلول بإستمرار نفاذ الماء العذب ، شكل رقم 5-1 وبإرتفاع عمود الماء يرتفع الضغط بجانب المحلول الملحي وتزداداً لذلك مقاومة نفاذ ومرور الماء العذب حتى يصل إرتفاع الضغط إلى قيمة تمنع من نفاذ الماء العذب تماماً ، عند هذا الضغط يحدث التوازن ويسمي هذا الضغط بالضغط الأسموزي .وقد إكتشف العلماء أنه يمكن عكس هذه العملية .أي أنه إذا أثرنا علي المحلول الملحي بضغط أعلي من الضغط الأسموزي فسينتقل الماء العذب من المحلول الملحي (الأكثر تركيزاً) في الإتجاه العكسي وينفذ إلى جهة الماء العذب (الأقل تركيزاً). وتعرف هذه العملية بعملية التناضح العكسي والتي يمكن بها الحصول علي الماء العذب من الماء المالح . ومن ثم فعملية التناضح العكسي هي عملية فصل الماء العذب عن محلول ملحي من خلال غشاء شبه نفاذ وذلك بضغط المحلول الملحي بضغط أعلي من الضغط الاسموزي ولا يحتاج الأمر إلي تسخين أو تغيير في الشكل بل يلزم أن يوضع المحلول الملحي (الماء المالح) تحت ضغط أعلي من الضغط الاسموزي لكي تتم عملية التناضح شكل رقم 5-1.

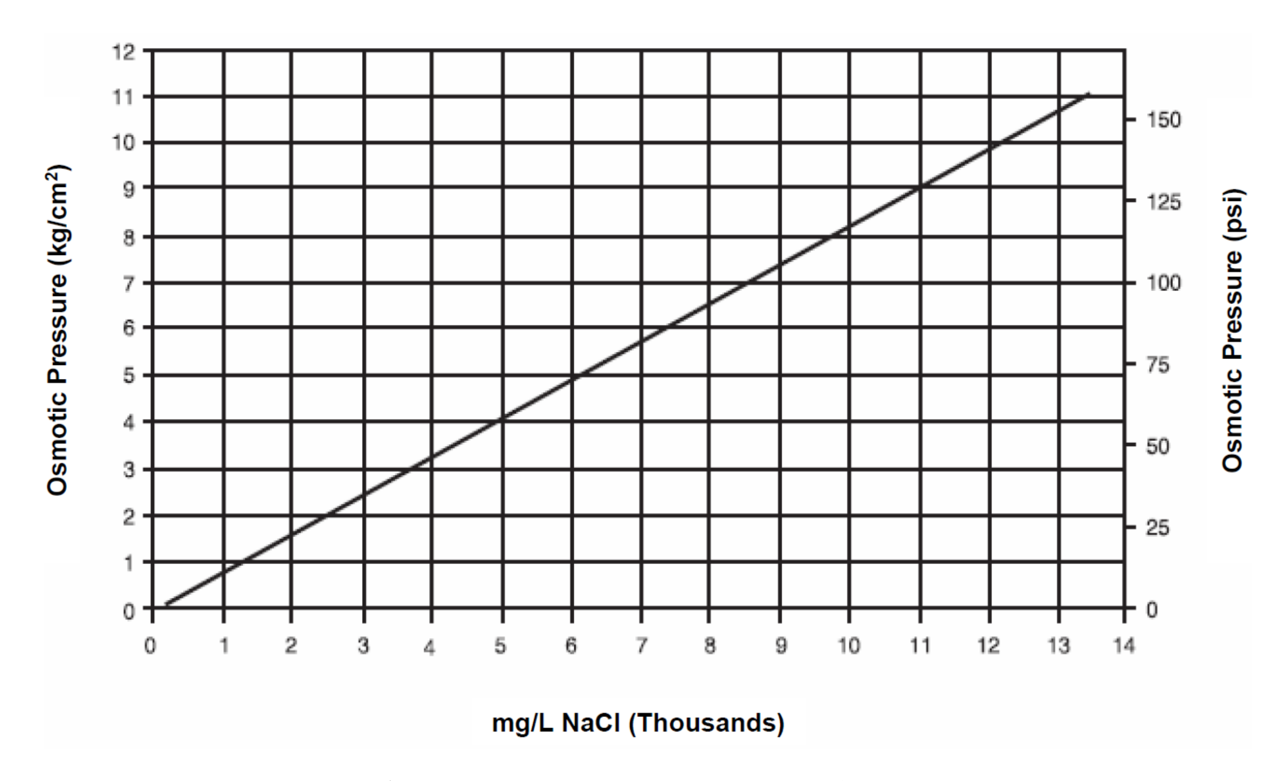


شكل رقم 5-1: عملية التناضح والتناضح العكسي.

ويعتمد قيمة الضغط الأسموزي علي عوامل عدة منها ، نسبة تركيز الملوحة للماء المالح ، وعلي نوعية الأملاح الذائبة ، وعلي درجة الحرارة ويتراوح الضغط الأسموزي لعنصر كالوريد الصوديوم (ملح الطعام) والذي يمثل 60% في الماء المالح بين 1 : 1.1 رطل / البوصة المربعة (أي حوالي 0.07 بار) لكل مائة جزء في المليون من الملح الذائب (أو واحد بار لكل 1430 جزء في المليون) ، شكل رقم 5-2 فمثلاً لماء بئر ملوحته 5000 جزء في المليون ، فإن الضغط الاسموزي له يساوى تقريباً 5000×0.001×1= 50 رطل/البوصة المربعة حوالي (3.4 بار) ولماء بحر ملوحته 32000 جزء في المليون فإن الضغط الأسموزي له حوالي 320 رطل / البوصة المربعة (حوالي 22 بار).

إلا إنه يجب ملاحظة أن الضغط الحقيقي اللازم لعملية التناضح العكسي عادة ما يكون أكبر كثيراً من هذه الأرقام وذلك لإضافة الضغوط اللازمة للأتي :

- الفقد في الضغط اللازم لسريان ماء التغذية خلال مجمع الأغشية، والأنابيب ، والصمامات ، وغيرها.
- الزيادة في تركيز (ملوحة) الماء أثناء مروره بالأغشية (من غشاء لأخر) نتيجة إستخلاص الماء العذب منه.
- الضغط الاستاتيكي لرفع الماء لخزانات الماء المنتج أو خزانات ماء الطرد.
- إحتمالات الإنسداد الجزئي للأغشية مع الزمن نتيجة ترسب العوالق والأملاح ، والمكونات العضوية ...إلخ.

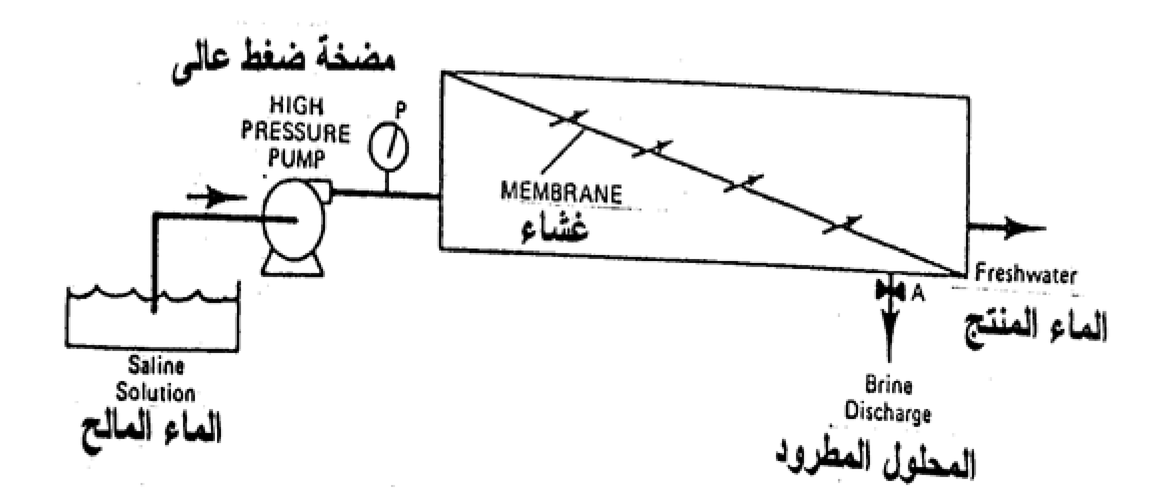


شكل رقم 5-2: العلاقة بين تركيز محلول كلوريد الصوديوم والضغط الأسموزي.

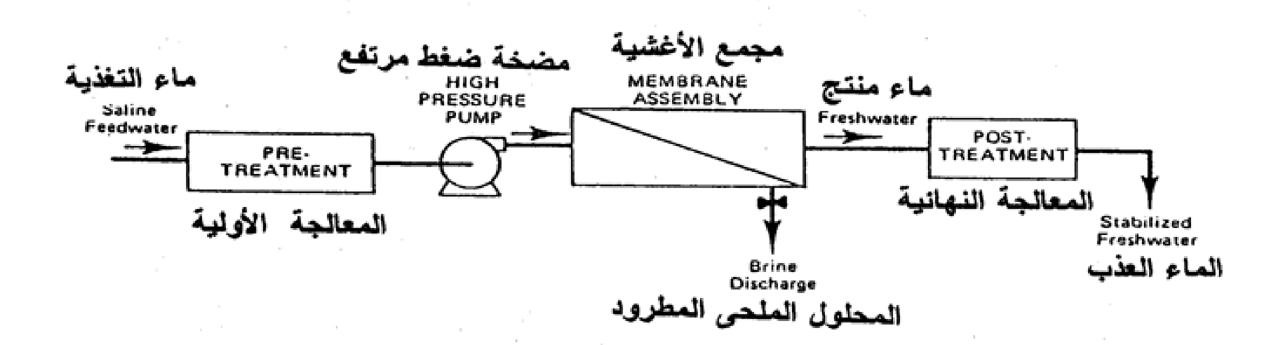
ومن الناحية التطبيقية يتم ضخ مياه التغذية المالح في وعاء ضغط مغلق حيث يضغط الماء المالح ويدفع خلال مجموعة من الأغشية ، وعندما يمر جزء من الماء العذب عبر الغشاء تزداد ملوحة الماء المالح المتبقي، وعليه فان جزء من مياه التغذية الأكثر ملوحة يتم التخلص منها ، وبدون هذا التخلص فأن الإزدياد المطرد لملوحة مياه التغذية سوف يتسبب في مشاكل كثيرة ، مثل زيادة الترسبات ، وزيادة الضغط عبر الأغشية (لزيادة الضغط الأسموز ي مع زيادة الملوحة)، وتتراوح كمية المياه المتخلص

منها بهذه الطريقة ما بين 20 : 70 % من مياه التغذية اعتماداً علي كمية الأملاح الموجود في مياه التغذية . وتسمي هذا المحلول بالمطرود . أما الماء العذب والذي نفذ من الأغشية فيكون الماء المنتج ويسمي هذا المحلول بالمطرود . أما الماء العذب والذي نفذ من الأغشية فيكون الماء المنتج ويسمي (Water Permeate or Product) ، شكل رقم 5-3.

وتحتاج هذه التكنولوجيا لعمليات معالجة أولية دقيقة لماء التغذية (لإزالة المواد العالقة من الطمي والرمال وغيرها) ، وكذلك إزالة وقتل وفصل الأحياء المائية الدقيقة (كالفطريات والبكتريا و الطحالب) وذلك للمحافظة علي وحدة التحلية من إنسداد وتلف الأغشية ، كما يحتاج الماء المنتج إلي معالجة نهائية لضبط خواصه بما يناسب الخواص المطلوبة حسب الإستخدام (سواء ماء شرب ، أو مياه للغلايات البخارية، أو للإستخدام الصناعي والغذائي والطبي) . وعليه فمحطة التحلية تتكون من ثلاث نظم أساسية ، الأولى للمعالجة الإبتدائية، والثانية لفصل الماء العذب (بمجموع الأغشية) ، والثالثة للمعالجة النهائية، طبقاً لما هو موضح بالشكل رقم 5-4.



شكل رقم 5-3: نموذج مبسط لوحدة التناضح العكسي.



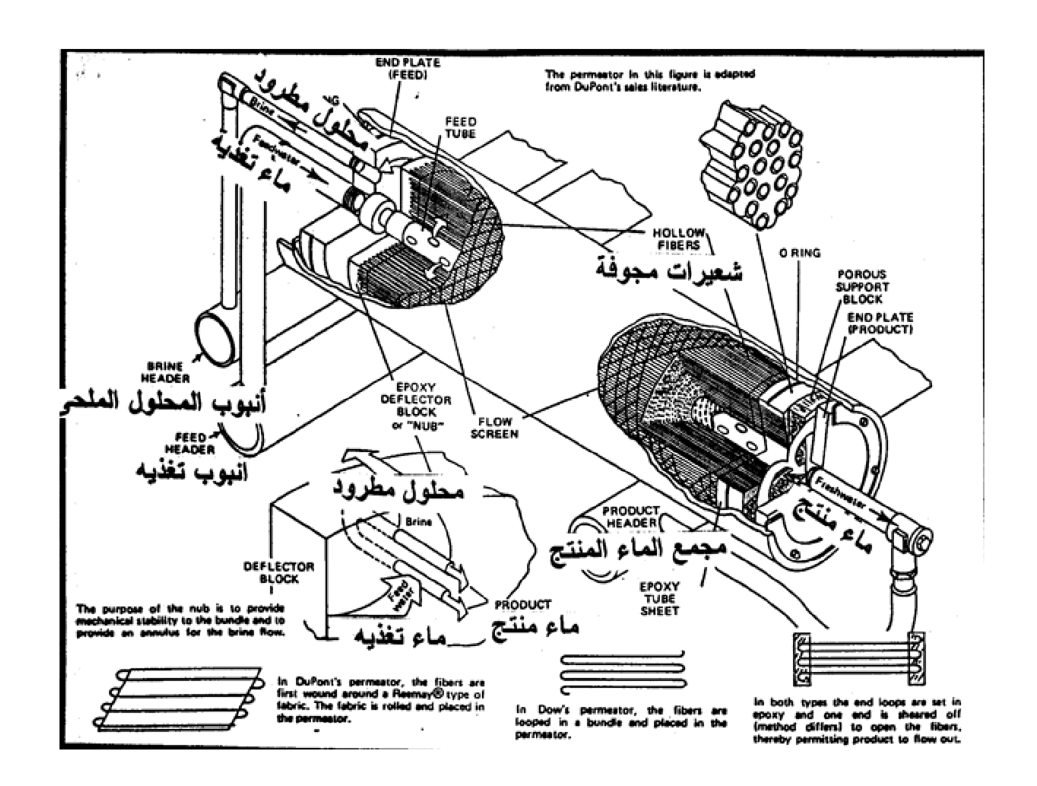
شكل رقم 5-4 : النظم الثلاثة الأساسية لوحدة التناضح العكسي.

5.5تكون الأغشية وطريقة عملها

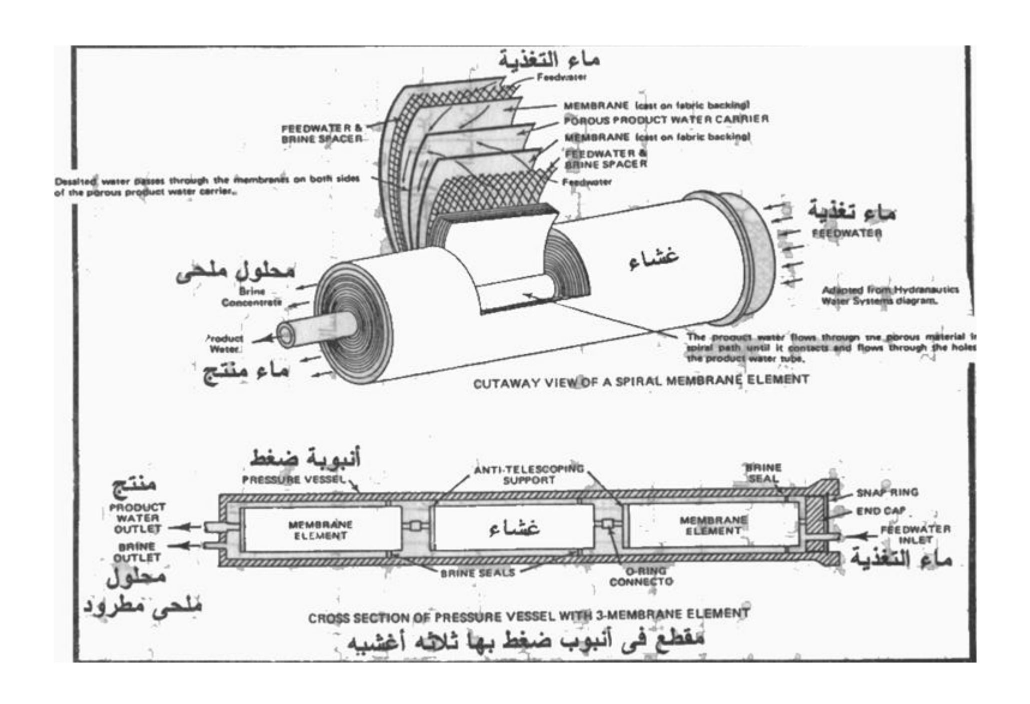
الأغشية عبارة عن مواد طبيعية أو صناعية شبه نفاذة (Semi Permeable) أي تسمح بمرور الماء فقط دون الأملاح . وتتكون أغشية التناضح العكسي من مواد خاصة (مثل أسيتات السيليوز) أو البولي أميد ، أما علي شكل شعيرات (خيوط) مجوفة مثل خيوط شعر الرأس تقريبا (Fine Fibers (Hollow شكل رقم 5-5 ، ملفوفة علي شكل حرف U ، أو علي شكل ألواح حلزونية ملفوفة (Spiral Wounded Sheets). وتعمل الأغشية بما يسمي بنظرية السريان بالإمتصاص الإنتقائي – بالخاصية الشعرية . أي أن طبيعة الغشاء تسمح بإمتصاص الماء فقط ورفض إمتصاص الأملاح.

وتعتمد قدرة الغشاء علي فصل الأملاح علي قطر المسام التي من خلالها يمر الماء الممتص . وتتراوح أقطار المسام من 1 : 15 أنجستروم (أي 1 : 15 × 10^{-9} متر) وهي أقل كثيراً من المرشحات الدقيقة (Micro Filteration) والتي تمنع الأحياء الدقيقة بالترشيح . والأشكال شكل رقم ***6-5*** شكل رقم 5-7 تبين نماذج هذه الأغشية.

شكل رقم 5-5 : الشعيرات المجوفة الدقيقة لأغشية التناضح العكسي.



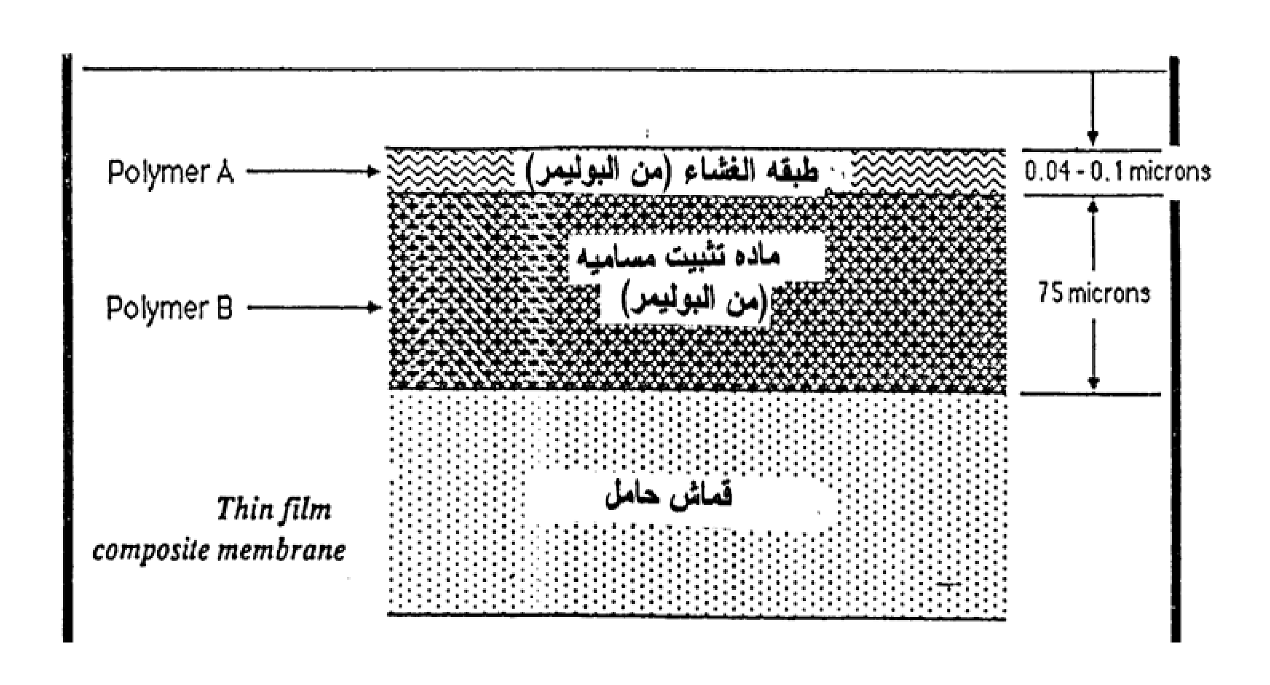
شكل رقم 5-6: أغشية الشعيرات المجوفة الدقيقة داخل وعاء الضغط.



شكل رقم 5-7 : أغشية الألواح الحلزونية الملفوفة داخل وعاء الضغط.

5.6مقارنة بين أغشية التناضح العكسي

تعتبر الأغشية قلب نظام التناضح العكسي. وهي تتكون من مواد رقيقة بسمك حوالي 0.04 : 0.01 ميكرون ، ومثبتة بمواد مسامية ليصل سمكها إلى حوالي 0.01 مم ، شكل رقم 5-8 وهي تختلف في قدرتها علي مرور الماء العذب وطرد الأملاح ، والأغشية لها القدرة علي منع مرور من 90% : 99% من المواد الغير عضوية ، وحوالي 100% من المواد العضوية (كالبكتريا ، والفيروسات) وغيرها(كالسيلكا) ويمر الماء العذب من خلال الفراغات بين الهيكل الجزيئ لمادة الغشاء عن طريق الإنتشار. وتستخدم مواد مثل أسيتات السيليوز (ومركباتها) والبروليميد كأساس للأغشية التجارية واجدول 5-1 يوضح الفرق بين كلا المادتين في الأغشية.



شكل رقم 5-8 : مقطع مكونات الغشاء.

يتفق كلا من عمليتي التناضح العكسي ، والترشيح الدقيق في أنهما يفصلان الماء عما يحتوي من مكونات ، إلا أن الترشيح الميكروني يفصل المواد العالقة فقط ، في حين أن الترشيح الدقيق والترشيح المتناهي الدقة والتناضح العكسي،يمكنهما فصل العناصر الذائبة . لذا تسمي أحيانا عملية التناضح العكسي . الجدول 5-1والجدول 5-2 يوضحان بعض الفرق بين عملية الترشيح أو التناضح العكسي . والجدول 5-3 يوضح خصائص أغشية الترشيح المختلفة ومقارنتها بالتناضح العكسي .

جدول 5-1: مقارنة مواد الأغشية.

م	أسيتات السيليوز	البوليميد
1	معدل مرتفع لمرور الماء العذب لوحدة المساحات	معدل أقل لمرور الماء لوحدة المساحات
2	تستخدم في الأغشية الملفوفة حلزونيا، والشعيرات الدقيقة المجوفة وغيرها	تستخدم في الأغشية الملفوفة حلزونيا والشعيرات الدقيقة المجوفة وغيرها
3	عمرها أقل من البوليميد	عمرها أطول من أسيتات السيليوز
4	تقاوم وجود الكلورين الزائد حتى أقل جزء في المليون	حساس لوجود الكلورين
5	مستقر حتى رقم هيدروجيني بين 3.5 : 6.5	مستقر في حدود الرقم الهيدروجيني 3 - 11
6	حساس لهجوم البكتريا	يقاوم البكتريا
7	حساس لإمكانية إنهياره مع إرتفاع درجة الحرارة وعدم إنضباط الرقم الهيدروجيني	يقاوم الإنهيار مع إرتفاع درجة الحرارة وعدم إنضباط الرقم الهيدروجيني
8	نسبيا أرخص سعراً	نسبيا أعلي سعراً

جدول 5-2 : الفرق بين الترشيح (الدقيق) والتناضح العكسي.

م	الترشيح	التنـاضح العكسي
1	الضغط الأسموزي صغير جداً	الضغط الأسموزي مرتفع حسب ملوحة الماء
2	الملوحة لا تزداد مع الترشيح	الملوحة تزداد لفصل الماء العذب أثناء العملية
3	تفصل العناصر حسب حجمها	هناك عوامل أخرى تسبب عملية فصل الأملاح
4	تترسب العوالق المفصولة علي المرشح (الغشاء)	يمر الماء العذب ويبقي المحلول الملحي
5	السريان عمودي علي المرشح لفصل العناصر منه	سريان الماء المالح موازي للغشاء
6	الترشيح(حتى الدقيق) يحتاج لضغط منخفض (حتى 5 بار)	يحتاج إلى ضغط مرتفع لأداء العملية (أكثر من عشرة أمثال الترشيح الدقيق)
7	لا يزيل إلا العناصر المذابة ذات الوزن الجزئي المتوسط	يمكن إزالة العناصر ذات الوزن الجزئي الصغيرة .

جدول 5-3 : خصائص أغشية التناضح العكسي ومقارنتها بالأغشية الأخرى.

م	الطريقة	شكل الأغشية	المواد المستخدمة في صنع الأغشية	المواد التي يمكن فصلها	الضغط المستخدم (رطل/بوصة2)	حجم مسام الأغشية
1	ترشيح رقيق Micro filtration	أنبوبي-tubular	بولي سلفون- فلوريد كربون – كربون زجاج	رواسب- غرويات	30-10	A (2000-50)
2	ترشيح فائق Ultra Filtration	أغشية لا تماثلية شعيرات جوفاء دقيقةhff	سيليوزية / أكريليك ولي سلفون / سيراميك	بروتينيات ومواد عضوية ذات وزن جزئي عالي	75-20	A(1000-10)
3	ترشيح متناهي الدقة Nano Filtration	أغشية مستوية مركبة Flat Sheet Composites	بولي أميدات أروماتية . مشتقات كحولية بولي فينل	أيونات ثنائية التكافؤ	150-50	A(100-7)
4	تناضح عكسي Reverse Osmosis	لا تماثلية مستوية مركبات مستوية لا تماثلية شعيرات جوفاء	أسيتات سيلولوز. بولي أميدات اليفاتية. بولي أميدات أروماتية. بولي سلفرن بولي فيوران	كل ما سبق مع الأيونات أحادية التكافؤ	300-150LB 600-350St br 1200-800Sw	A(15 - 1)

6 مكونات وحدة التناضح العكسي

تتكون وحدة التناضح العكسي أساساً، من مضخة ضغط مرتفع للحصول علي ضغط أعلي من الضغط الأسموزي، بالإضافة إلي مجمع الأغشية . لكن أكثر تفصيلاً تتكون ، من الأجزاء الأساسية التالية:

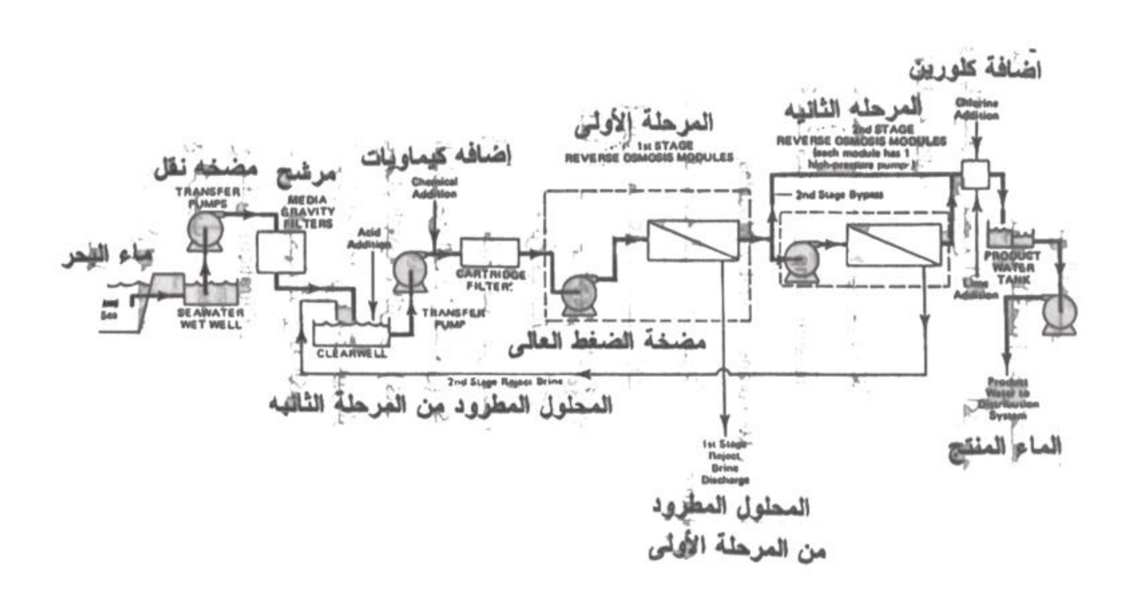
أ- مكونات وحدة المعالجة الأولية لمياه التغذية
ب- مضخة ذات ضغط عال.
ج- مجمع أغشية.
د- مكونات وحدة المعالجة النهائية.

والشكل رقم 6-1 يبين وحدة تناضح عكسي ذات مرحلتين من مجمعات الأغشية . والمعالجة الأولية تعني تجهيز ماء التغذية لدخول مجمع الأغشية وذلك بإزالة العوالق ، ومنع ترسب الكائنات الحية ونموها علي الأغشية (وهي مهمة جداً لأن مياه التغذية ستمر عبر الممرات الضيقة للأغشية ، أثناء عملية فصل الماء العذب عن المحلول الملحي) .كما تشمل المعالجة الأولية كل من عمليات ضخ ماء التغذية ،الترويق (خاصة للمياه العكرة) ، والترشيح (الفلترة) ، وإضافة مركبات الكلور (مثل هيبوكلوريد الصوديوم) لقتل الأحياء الدقيقة بالماء ثم ترشيحها ، ثم إزالة الكلور الزائد (حتى لا يضر الأغشية) ، والترشيح الدقيق ، وإضافة حامض أو مواد كيميائية أخري لمنع الترسيب.

ويتبع عملية المعالجة الأولية ضغط الماء المالح عن طريق مضخة ذات الضغط العالي (أعلي من الضغط الأسموزي) لتوفر الضغط اللازم لعبور الماء العذب من خلال الأغشية وحجز الأملاح . وهذا الضغط يتراوح ما بين 17 : 27 بار (ضغط جوي) لمياه الآبار ، وبين(45 : 80) بار لمياه البحر (حسب ملوحة الماء ومعدلات الإنتاج).

ويتكون مجمع الأغشية من عدد من أوعية الضغط الأشكالشكل رقم *7-5* شكل رقم 8-5 شكل رقم 6-2 ، تبين أوعية الضغط والتي تحتوي علي مجموعة من الأغشية شبه النفاذه وهي مختلفة الأنواع والأشكال وكذلك مواد التصنيع . كما تختلف في مقدرتها علي مرور الماء العذب وحجز الأملاح كما سبق شرحه . وليس هناك غشاء محكم إحكاما كاملا في طرد الأملاح ، بل ينفذ جزء صغير من الأملاح مع الماء خلال الأغشية ، ولذلك توجد بعض الأملاح في المياه المنتجة بطريقة التناضح العكسي . ويمكن خفض ملوحة الماء المنتج بإستخدام مرحلة ثانية كما في الشكل رقم 6-1 . وتصنع أغشية التناضح العكسي من أشكال مختلفة . وهناك شكلان شائعان تجارياً وهما اللوح الحلزوني، والألياف / الشعيرات الدقيقة

المجوفة لتحلية كل من مياه الآبار ومياه البحر علي الرغم من إختلاف تكوين الغشاء الإنشائي ووعاء الضغط ، وذلك إعتماداً علي المصنع وملوحة الماء المراد تحليته . وتستخدم الأغشية ذات الضغط المنخفض في تحلية مياهـ الآبار علي نطاق واسع ، بينما تستخدم الأغشية ذات الضغط المرتفع في تحلية مياه البحار الأعلى ملوحة.

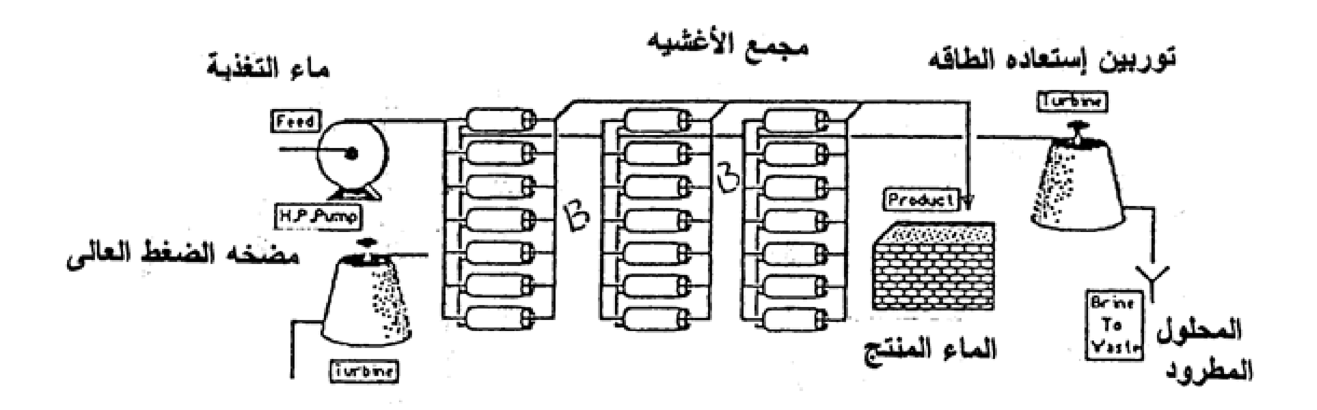


شكل رقم 6-1 : مكونات وحدة تناضح عكسي من مرحلتين.

أما المعالجة النهائية فهي للمحافظة علي خصائص الماء وإعداده بالمواصفات المطلوبة للإستخدام . وربما شملت هذه المعالجة إزالة الغازات ، وتعديل درجة القلوية بضبط الرقم الهيدروجيني .

وبالإضافة إلى المكونات الأساسية السابقة ، يلزم للمحطة مصدر للطاقة الكهربية ، ومضخات مساعده (لضخ ماء التغذية ، والماء المنتج ، والكيماويات ، والرجيع المطرد) ، وكذلك خزانات وأنابيب لمياه

التغذية والماء المنتج وماء الرجيع ، وأجهزة القياس للمراقبة والمتابعة والتحكم ، وغير ذلك من المكونات المساندة لأي منظومة هندسية وقد تكون المحطة ذات مرحلة واحدة ، أو ذات مرحلتين حسب التصميم . كما قد يوضع توربين مائي عند مخرج الوحدة للإستفادة من الضغط المتبقي بعد إنتهاء عملية الفصل ، وإستعادة جزء من الطاقة للمساعدة في إدارة مضخة الضغط العالي وتوفير جزء من طاقتها المطلوبة ، ومن ثم خفض تكاليف الإنتاج.



شكل رقم 6-2 : أوعية الضغط علي التوالي / التوازي.

7 أهم عناصر تقييم أداء وحدة التناضح العكسي

يتم التقييم الأولى لعملية التحلية بالتناضح العكسي علي عدة معايير منها :

1- إنتاجية الوحدة (متر مكعب في اليوم)

2- جودة الماء المنتج (ملوحته بجزء من المليون)، ونسبة طرد الملح ، ونسبة إستعادة الماء العذب من الماء المالح .

3- سعر الوحدة الإبتدائي ، وتكلفة التشغيل والصيانة ، ومن ثم تكلفة إنتاج المتر المكعب من الماء المنتج.

4- ضغط وقدرة مضخة الضغط العالي.

5- معدل تغيير الأغشية . . . إلخ

ويمكن حساب فيض الماء العذب عبر الأغشية أي معدل السريان لكل متر مكعب من مساحة سطح الأغشية حسب الفرق بين ضغط التغذية وضغط الماء المنتج والضغط الأسموزي (لكل من ماء التغذية والماء المنتج) من المعادلة :-

Wat

ويعتمد الثابت (K1) يعتمد علي نوع مادة الأغشية ، وسمكها ، وشكل الغشاء . ويجب ملاحظة أن الضغط الأسموزي لماء التغذية يزيد بمرور الماء المالح خلال الأغشية ، حيث يسحب منه الماء العذب فيزداد تركيزه ، ومن ثم يزداد ضغطه الأسموزي . وقد يلاحظ من المعادلة أنه بزيادة ضغط ماء التغذية يزداد الإنتاج (Water Flux) . وهذا صحيح لكن لحدود معينة حيث أن بزيادة ضغط ماء التغذية يضغط علي الأغشية (ميكانيكا) ويسبب لها ما يسمي بالانضغاطية ، حيث تقل المسام ، مما يقاوم مرور الماء العذب ويقاوم زيادة الإنتاج . كما أنه بزيادة ضغط ماء التغذية وزيادة الإنتاج يقل معدل ماء الرجيع أي يزداد تركيز ملوحة الماء المالح ومن ثم يزداد الضغط الأسموزي (المقاوم) فلا يزداد الإنتاج . كما يمكن حساب فيض الملح عبر الأغشية (Salt Flux J 2) من الفرق في التركيز (Concentration) بين ماء التغذية والماء المنتج حسب المعادلة :-

$Salt\ Flu$

وعليه فإن من المتوقع أن الماء المنتج من ماء البحر سيكون أكثر ملوحة من الماء المنتج من ماء البئر . وتسمي النسبة بين معدل إنتاج الماء العذب إلى معدل دخول ماء التغذية المالح نسبة

الاستعادة (أو الإستفادة) وتتراوح بين 35 % ÷ 45 % لماء البحر ، وحوالي 85 %
لماء الآبار أي

كما تسمي النسبة بين تركيز الماء العذب المنتج إلي تركيز ماء التغذية نسبة مرور الملح وهي تمثل ملوحة الماء المنتج والتي تصل إلي حوالي 10 % من ملوحة ماء للتغذية أي :-

Salt Pa

أما الفرق بين 100 % ونسبة مرور الملح فتسمي بنسبة طرد الملح Salt Regection والتي تصل إلي 90% أي :-

8 العوامل المؤثرة علي أداء تشغيل تكنولوجيا التناضح العكسي

هناك عدة عوامل تؤثر علي تشغيل وحدات التناضح العكسي مثل ، معدل سريان المحلول، درجة المحلول ، أداء هيكل الغشاء ، وتركيز المحلول وغير ذلك . ويعتبر معدل سريان المحلول Brine Flow والمحلول المطرود Reject من العوامل الهامة المؤثرة علي جودة الماء المنتج وعلي أداء الغشاء . وهذه المعدلات عادة ما تحددها الجهة المصنعة (حسب دراستهم وتجاربهم) والسبب في أهمية هذا المعدل هو أن خروج الماء العذب من خلال الأغشية يترك بعض الأملاح أو المحلول الأشد تركيزاً قرب سطح الغشاء وتحتاج هذه الأملاح إلي أن تكسح بعيداً عن السطح حتى لا تقلل معدلات خروج الماء العذب نتيجة زيادة فرق التركيز (مما يزيد من الضغط الأسموزي) وهذا يحتاج إلى زيادة معدل سريان المحلول لكن لحدود لا تؤثر في إتلاف الغشاء . وزيادة تركيز المحلول قرب أسطح الأغشية يزيد من الضغط الاسموزي ومن ثم يقلل من معدلات خروج الماء العذب ، مما يلزم زيادة ضغط المحلول . كما تزيد أيضا من معدلات خروج الملح مع الماء العذب ، مما يقلل من جودة الماء العذب . كما يؤثر تركيز الأملاح سلباً علي أسطح الأغشية وعلي الأغشية نفسها، وقد تؤدي إلى سرعة إتلافها ، وكذلك تسبب في ترسب هذه الأملاح علي أسطح الغشاء وإنسدادها .

وتؤثر درجة الحرارة أيضا علي أداء الأغشية (تؤخذ درجة حرارة 25^5 م كمقياس في عملية التناضح العكسي) . وزيادة درجة الحرارة قد تزيد من معدل خروج الماء العذب من الأغشية (نتيجة خفض اللزوجة للماء) إلا أن هذه الزيادة تقابلها زيادة في درجة تركيز المحلول مما يلزم رفع الضغط الأسموزي المقابل . وزيادة الضغط تؤثر علي إنضغاط الأغشية [Compaction] ، مما يقلل من مرور الماء العذب . وما زالت التجارب العلمية مستمرة لمعرفة تأثير زيادة درجة الحرارة علي أداء وحدة التحلية والأغشية . ومن ناحية أخري يلزم ضبط الرقم الهيدروجيني لماء التغذية وإلا أثر ذلك علي الهيكل التركيبي الكيميائي لمواد الأغشية (Hydrolysis) ويزيد رفع درجة الحرارة من هذه الظاهرة.

9 المعالجة الأولية والنهائية لمياه التحلية و النظم المساعدة

9.1الفرق بين التحلية ومعالجة المياه بوجه عام

معالجة المياه (Water Treatment)هو تعبير عام لمجموعة من العمليات تستهدف تحويل الماء الغير صالح للإستخدام (أو الماء الغير معالج) إلى ماء صالح للإستخدام (أي إلى ماء معالج). وتختلف عملية المعالجة حسب نوع المكونات الغير صالحة والمتواجدة بالماء ، وكذلك حسب نوع الإستخدام للماء المعالج . مثلا معالجة مياه الصرف الصحي ، غير معالجة مياه الصرف الصناعي ، وغير معالجة مياه الصرف الزراعي ، وغير معالجة مياه النيل ، وغير معالجة مياه البحار والآبار. كذلك معالجة أي من هذه المصادر السابقة تختلف حسب نوع الإستخدام للماء المنتج . فالمياه المعالجة للشرب ، غير المياه المعالجة للري الزراعي ، غير المياه المعالجة بغرض الإستخدام في التبريد الصناعي ، غير المياه المعالجة لتغذية الغلايات والمراجل البخارية أو المصانع الغذائية والدوائية . وهكذا تتعدد عمليات المعالجة حسب نوع مصدر المياه ، وكذلك حسب نوع الإستخدام . إلا أن جميع عمليات المعالجة تتفق في الأساسيات وهي :

أ- إزالة المواد العالقة بالماء .

ب- إزالة المواد الذائبة بالماء .

ج- إزالة الميكروبات والمواد السامة أو الحية والعضوية . وتختلف أهمية هذه المعالجات الثلاث حسب نوع مصدر المياه ، وكذلك حسب نوع الإستخدام للماء المعالج . وشكل رقم 9-1 يوضح مخطط عام لعمليات المعالجة بدأ بالمصادر ونهاية بالصرف مرورا بالتطبيقات .

أما عمليات التحلية (إزالة الملوحة) ، فهي نوع خاص من عمليات المعالجة ، وهي خاصة بالماء المالح المتواجد بالبحار والآبار . ونظرا لأن التحلية نوع خاص من عمليات المعالجة للماء فهي تتفق مع عمليات المعالجة في أساسياته وهي:

أ- إزالة المواد العالقة بالماء المالح .

ب- إزالة المواد الذائبة بالماء (الأملاح)

ج- إزالة الميكروبات والمواد السامة أو الحية والعضوية و تسمي عملية معالجة المياه الداخلة (مياه التغذية) لوحدة التحلية بالمعالجة الأولية (أو الابتدائية) لمياه التغذية . أما عملية معالجة المياه الخارجة (أو الناتجة) من وحدة التحلية بالمعالجة النهائية للماء المنتج .

9.2الشوائب الموجودة بالماء ومشكلاتها

يعتبر الماء في حالته النقية خاليا من الطعم واللون والرائحة . لكنه من أعظم المواد قدرة علي الإذابة (تقريبا لكل شئ) فهو يذيب ويمتص الصخور ، والتربة ، والغازات ، من الهواء والمخلفات الزراعية والصناعية والصحية وغيرها . لذا عادة ما يحمل العديد من الشوائب . وتنقسم الشوائب بالماء عادة إلى مواد عالقة ، ومواد صلبة ذائبة أو غازات ذائبة.

والماء الطبيعي سواء المالح أو العذب يحتوي علي مواد عالقة تسبب له عكارة (Turbidity) وتجعل له لون ناتج من مروره بالتربة والصخور و المخلفات الصناعية من الزيوت وغيرها وكذلك تكون مواد عضوية وفطريات.

كما يحتوي الماء علي مواد صلبة ذائبة من ذوبان المعادن والأملاح الموجودة بالتربة والصخور . حيث تتكون الصخور مركبات مثل الحجر الجيري (Lime- Stone) أو (كربونات الكالسيوم) ، والجبس(كبريتات الكالسيوم) ، والسيليكا ، وملح الطعام (كلوريد الصوديوم) ومعادن مثل الحديد والمنجنيز ، والألمونيوم ، والنترات والفوسفات من المخلفات الصحية والزراعية.

والماء الذي يحتوي علي أملاح الكالسيوم والماغنسيوم يسمي ماء عسر(Hard Water) يصعب إستخدامه للغسيل وإذابته للصابون وهي قابلة للترسب علي الأسطح مما يسبب مشكلات في عملية إنتقال الحرارة وسد الأنابيب .

كما يذيب الماء الهواء (يحتوي الهواء علي 21 % أكسوجين ، 78% نتروجين، 1% من غازات أخري مثل ثاني أكسيد الكربون). وهذه الغازات تساعد في عملية تأكل المعادن في المنشات عامة والصناعة خاصة. كما يذيب الماء غازات مثل ثاني أكسيد الكبريت من المنتجات الصناعية والتي يكون حامض الكبريتيك ويسبب تآكل المكونات المعدنية.

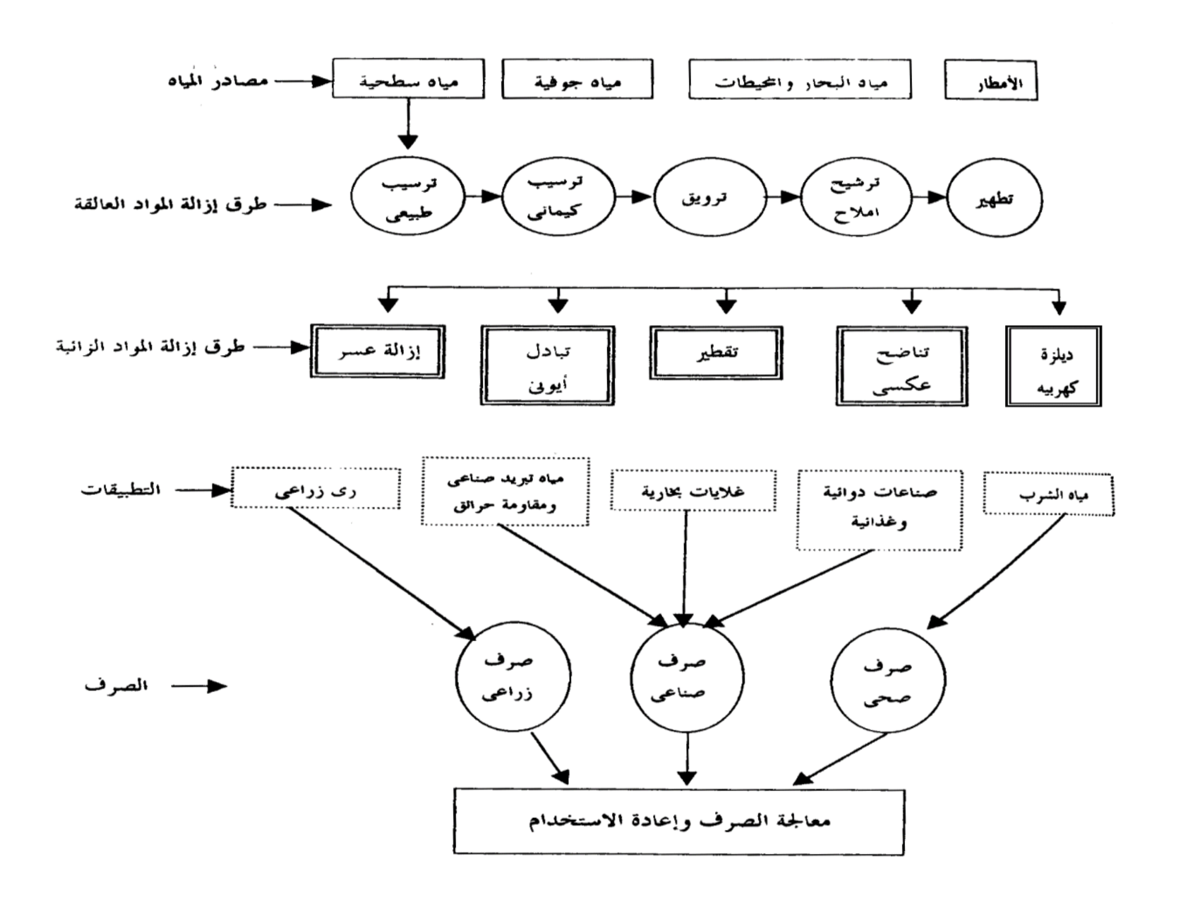
ومن أهم المشكلات التي تسببها المواد العالقة والذائبة بالماء هي ترسب القشور في الأنابيب وعلي أسطح انتقال الحرارة وكذلك تآكل المواد ونمو البكتريا والأحياء الدقيقة.

9.3معني التوصيلية (Conductivity) والعوامل المؤثرة عليها

تقوم الأيونات في المحاليل بتوصيل الكهرباء . وتختلف قدرة الأيونات علي توصيل الكهرباء. والتوصيلة هي عكس المقاومة الكهربية . وحيث أن مقياس المقاومة هو أوم ohm كان مقياس

توصيله هو (Mho) ، ثم تحول إلى سيمنز وهو مقلوب المقاومة الكهربية لمحلول (عند درجة حرارة 25°م) بين قطبين مساحة كل منهم 1سم2 والمسافة بينهما 1 سم .

وتتأثر التوصيلة بكل من درجة الحرارة ، تركيز المحلول ، مكونات المحلول . وعليه تتناسب التوصيله مع تركيز الأملاح الذائبة.



شكل رقم 9-1 مخطط لعمليات معالجة المياه

9.4معني عسر المياه

يعرف عسر المياه بوجود مركبات عنصري الكالسيوم والماغنسيوم أو كليهما في الماء (مثل مركبات الكربونات والبيكربونات والكبريتات والكلوريدات والنيترات – للكالسيوم والماغنسيوم). وتؤدي أيضا مركبات كل من الحديد والألمونيوم والمنجنيز نفس الدور الذي تؤديه مركبات الكالسيوم والماغنسيوم من عسر للماء . إلا إن مركبات كل من الحديد والألمونيوم والمنجنيز توجد في الماء بنسب أقل كثيرا من مركبات الكالسيوم والماغنسيوم ، بحيث يمكن إهمال دروها نسبيا .

والماء العسر لا يرغي الصابون . ويسبب عسر الماء (تواجد مركبات الكالسيوم والماغنسيوم) إلى الترسبات علي أسطح المبادلات الحرارية عند تسخين الماء العسر مما تقلل من كفائتها . لذا يلزم التخلص من هذه المركبات بإستخدام ما يسمي بالميسرات (Softeners).

يمكن التخلص من مركبات الكالسيوم والماغنسيوم في الماء بإستخدام كيماويات ميسرة مثل الجير (Line) والصودا ، حيث تتفاعل مع المركبات العسرة إلى مركبات يمكن ترسيبها ومن ثم فصلها عن الماء (بالترشيح والترسيب).

كما تستخدم مادة الزيوليت (زيوليت صوديوم أو زيوليت كالسيوم) كميسر للماء بتبادل أيونات الكالسيوم أو الماغنسيوم مع الصوديوم وترسيب الصوديوم وفصله بمرشحات . والجدول رقم 9-1 يقسم الماء تبعاً لدرجة العسر.

جدول رقم 9-1 : تقسيم الماء تبعا لدرجة العسر

درجة العســـر	تركيز الأملاح بالجزء في المليون
ماء يسر	أقل من 50
ماء متوسط العسر	50 – 100
ماء عسر	150 – 300
ماء شديد العسر	أكثر من 300

9.5طرق تعقيم الماء للماء

يحتوي الماء علي البكتريا ، والطحالب ، والأحياء البحرية ، والتي قد تؤذي الإنسان أو قد يغير من طعم ولون ورائحة الماء . لذا يجب التخلص من هذه الأحياء الدقيقة بقتلها لتعقيم الماء . ويضاف الكلور لهذا الغرض ، ثم (بعد قتل هذه الأحياء) يتم تصفيتها بالترشيح من خلال المرشحات الدقيقة (الميكرونية) . ويضاف الكلور كمطهر علي صورة هيبوكلوريد (الصوديوم أو الكالسيوم) ويسمي تجاريا بالهيبو(هيبوكلوريد الصوديوم) (Sodium Hypochlorite NaOCl) أو هيبو كلوريد الكالسيوم (Calcium Hypo Chloride) (Ca (OCl_2)) أو يضاف علي صورة كلور غاز (مسال) (Cl_2).

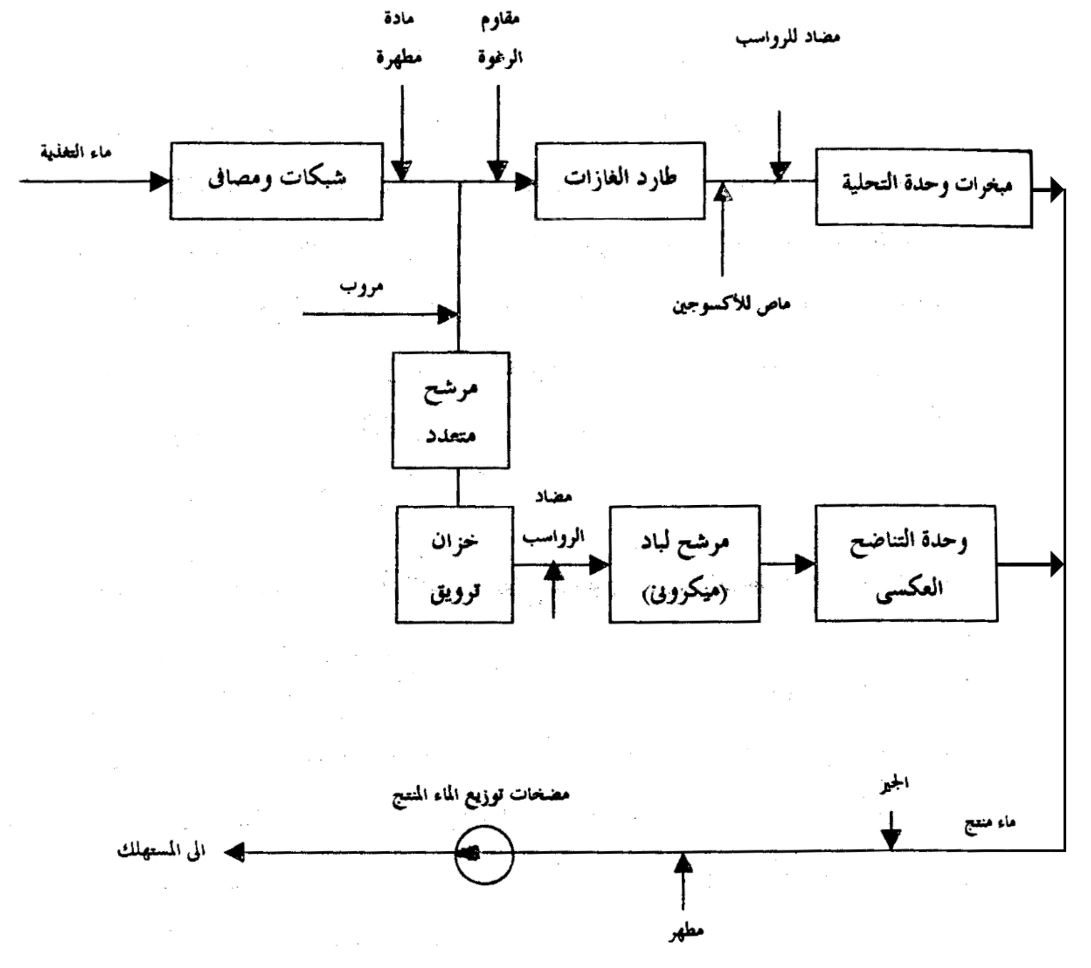
في حالة الوحدات الصغيرة ، أو الحساسة من الناحية الصحية والطبية يمكن إستخدام غاز الأوزون (O_2) أو الأشعة فوق البنفسجية (Ultra Violet -UV) والجدير بالذكر أن عملية التقطير الشمسي

(في الدورة المائية والمقطرات الشمسية) يتم التعقيم طبيعيا بالأشعة فوق البنفسجية من الشمس مباشرة.

9.6معني المعالجة الأولية لمياه التغذية لوحدات التحلية

معالجة مياه التغذية الداخلية لوحدة التحلية Feed Water Treatment (سواء مياه البحار أو الآبار أو غيرها) تسمي بالمعالجة الأولية (أو الابتدائية) Pre -Treatment . ويتم معالجة هذه المياه أساسا لحماية وحدة التحلية والأجهزة بها من التآكل Corrosion ، ومن تراسب الأملاح Scale Deposits ، ومن عمليات ترسب العوالق والمواد العضوية & Fouling Soft - Scale Deposits . وتختلف عملية المعالجة الأولية حسب نوع ماء التغذية (بحر ، بئر ، أو غيره) ، وحسب تكنولوجيا التحلية المستخدمة (حرارية ، أغشية ، . . ..الخ) . فقد يلزم لعمليات التحلية بالأغشية معالجة المواد العالقة والبحرية أكثر من الطرق الحرارية وذلك لمنع إنسداد شعيرات ومسامات الأغشية الدقيقة جدا . في حين أن الطرق الحرارية يلزمها معالجة الأملاح الذائبة أكثر من طرق الأغشية خوفا من ترسب هذه الأملاح علي سطح إنتقال الحرارة مع زيادة درجة الحرارة . والشكل رقم 9-2 يوضح التصور العام للعمليات المعالجة الأولية لمحطات التحلية . ففي محطات التحلية الحرارية تشمل المعالجة علي :

1- شبكات تصفية عوالق البحر Screening System
2- إضافة الكلور (يضاف الكلور في ماء التغذية لقتل الأحياء الدقيقة).
3- إضافة المواد الكيميائية (لتجميع العوالق الدقيقة Coagulants)
4- عملية الترسيب Sedimentation .
5- عمليات إزالة العوالق الدقيقة (الترشيح – الفلتره) .
6- عمليات إزالة العوالق الدقيقة جدا (الفلتره الدقيقة جدا أو الميكرونية)
7- إزالة الكلور الزائد قبل دخول الماء للأغشية (حتى لا يتلف الأغشية)، ومنه إلي مجمع الأغشية .



شكل رقم 9-2 التصور العام للعمليات المعالجة الأولية لمحطات التحلية

9.7أهمية المعالجة الأولية علي أداء وحدات التناضح العكسي

تعتبر جودة المعالجة الأولية من أهم العوامل المؤثرة علي نجاح عملية تشغيل وحدات التناضح العكسي ، حيث أن ترسب أية عوالق علي الأغشية تؤدي إلي إنهيار أداء الأغشية وإنخفاض معدلات إنتاج الماء . وقد يتبع إنخفاض معدل الإنتاج إلي زيادة ضغط المحلول مما يتلف الأغشية ويقلل من عمرها الإفتراضي للعمل .

تشمل المعالجة الأولية العمليات الأساسية مثل الترشيح بإستخدام المرشحات الرملية ، ثم يتبع ذلك مرشحات اللباد (Cartridge Filters) في حدود 5 ميكرون ، ثم إضافة الحامض لضبط الرقم الهيدروجيني ، ولمنع الترسبات والتي تترتب ترسبات وتقليل معدل أكسدة الحديد وإضافة الكلور لقتل المواد العضوية الحية (ثم يزال الكلور تماما في أغشية البوليميد) حتى لا تؤثر علي أداء

الأغشية . وتعتبر مكونات ونظم المعالجة الأولية لوحدة التحلية بالتناضح العكسي من الأجزاء المهمة جدا و المكلفة (فقد تصل إلى 60 % من التكاليف الشرائية للوحدة).

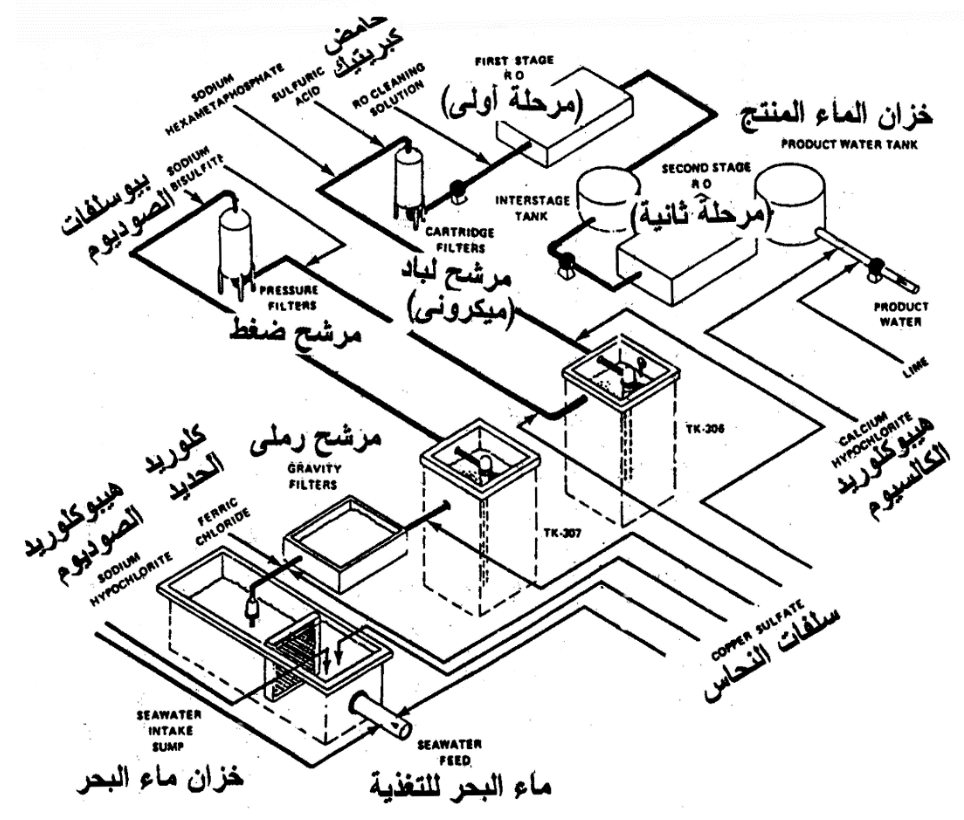
9.8الكيماويات المضافة لعمليات التحلية

تتعدد الكيماويات المضافة لعمليات التحلية حسب الهدف منها . ولمعالجة المياه في محطات التحلية ، تضاف نسب محددة من بعض المواد الكيماوية مثل:

1- هيبوكلوريد الصوديوم ، أو سلفات النحاس، لتطهير الماء المالح .
2- باي سلفات الصوديوم لطرد الأكسجين من ماء التعويض ، ولإزالة الكلور الزائد.
3- حامض الكبريتيك لضبط الرقم الهيدروجيني في الماء المالح .
4- مادة البلجارد (إسم تجاري لمركب كيميائي) لمنع الترسبات علي أسطح إنتقال الحرارة (في المحطات الحرارية) .
5- كما يضاف هيبو كلوريد الصوديوم وهيبو كلوريد الكالسيوم لتطهير الماء المنتج ، كما يضاف الجير لضبط الرقم الهيدروجيني للماء المنتج . والجدول رقم 9-2 يبين ملخص لبعض المواد الكيماوية التي تضاف لمحطات التحلية الحرارية أثناء المعالجة الأولية والنهائية ، سبب إضافتها . والشكل رقم 9-3 يبين مواقع إضافة وحقن هذه الكيماويات.

جدول رقم 9-2 : الكيماويات المضافة لوحدة التحلية.

الكيماويـــات المضافة	سبب الإضافـــة
المعالجة الأولية: - هيبو كلوريد الصوديوم (الهيبو) - أو كبريتات النحاس - بأي سلفات الصوديوم - هيكسا ميتا فوسفات الصوديوم - حامض الكبريتيك	لتطهير ماء التغذية (أو الماء المنتج) لتطهير ماء التغذية (أو الماء المنتج) لإزالة الكلور من ماء التغذية لمقاومة الترسبات (Anti Scale) لضبط الرقم الهيدروجيني ومقومة الترسبات
المعالجة النهائية : - هيبو كلوريد الكالسيوم / الصوديوم - الجير	لتطهير الماء المنتج لضبط الرقم الهيدروجيني
- التنظيـف : - هيدروكيد الأمنيا / الصوديوم - حامض الهيدروكلوريك - حامض الستريك / الفوسفوريك / الأوكساليك - فوسفات الصوديوم الثلاثي - الفورمالدهايد	لضبط الرقم الهيدروجيني لمحلول التنظيف لضبط الرقم الهيدروجيني لمحلول التنظيف لإزالة الترسبات الكربونية والأكسيد لإزالة المواد العضوية والترسبات الميكروبيولجية للتطهير والمحافظة علي الأغشية

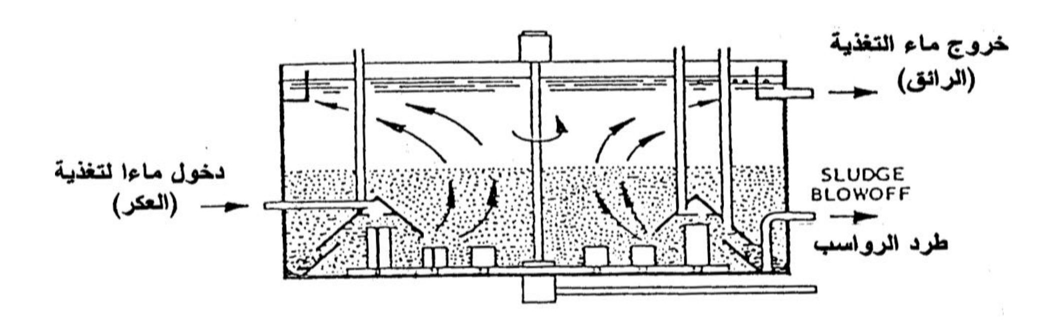


شكل رقم 9-3 مواقع حقن الكيماويات في محطة تناضح عكسي

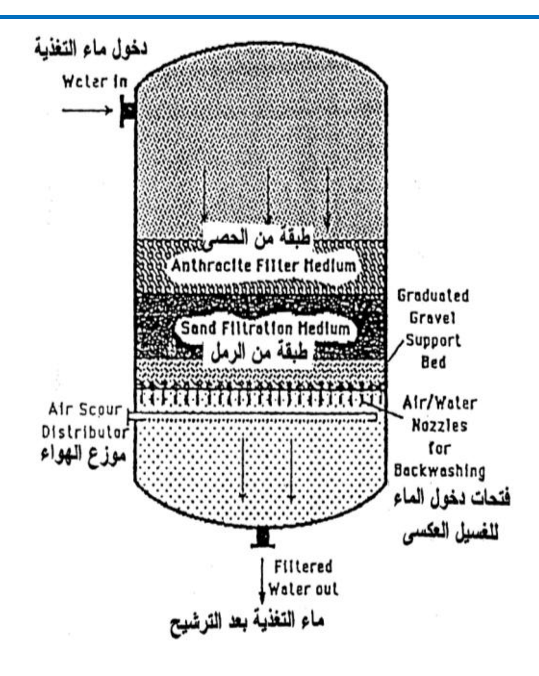
9.9مكونات منظومة الدخول Intake System والمعالجة الأولية لمياه التغذية

تتكون منظومة دخول مياه التغذية لوحدة التحلية من مجموعة من الأنابيب أو المجاري لدخول الماء المطلوب معالجته . ثم يتجه ماء التغذية من خلال شبكات (مصافي) لحجز العوائق الكبيرة (مثل الأعشاب) ، ومنه إلى مضخات مياه التغذية ، ومنها الي المروقات Clarifiers ، شكل رقم 9-4، وهي عادة ما تكون خزانات كبيرة تسمح بترسيب المواد العالقة الكبيرة الحجم نسبيا كالرمال والطمي ، وقد يستخدم مواد مساعدة مثل كبريتات الألمونيوم – الشبة للمساعدة في تجميع العوالق الصغيرة (حيث تتميز كبريتات الألمونيوم بالقدرة علي جذب العوالق الصغيرة وتجميعها حولها لتكون عوالق كبيرة) لتسهل ترسيبها . ثم يتم حقن الماء بالكلور (يضاف الكلور في ماء التغذية لقتل الأحياء الدقيقة – ثم يزال الكلور الزائد قبل دخول الماء للأغشية) ، وكذلك إضافة بعض المواد الكيميائية ضد الترسيبات (Anti Scalants)، وضد التآكل (Corrosion or Anti-Corrosion Inhibitors) ، وينقل الماء بعد ذلك إلى مجموعة المرشحات الرملية متعددة المحتوي من الرمل والحصي الدقيق لترشيح الماء من العوالق ، شكل رقم 9-5، ثم مرشحات اللباد Cartridge

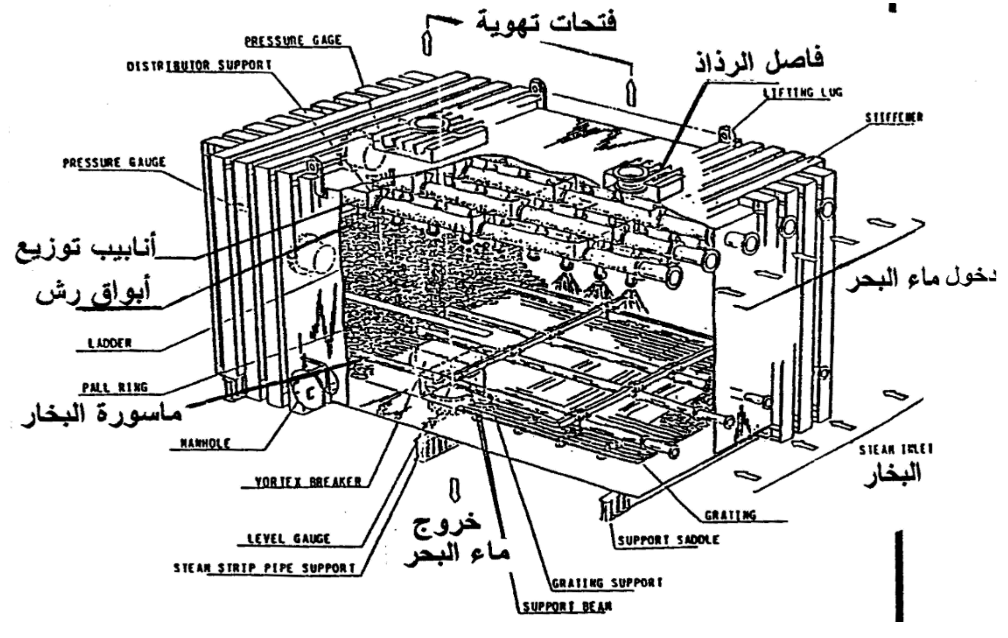
Filters (لترسيب المواد العالقة الدقيقة كالفطريات الدقيقة) وفي وحدات التحلية بالأغشية قد تحتاج إلى المرشحات الدقيقة جدا Micro Filtration ، وفي وحدات التحلية الحرارية نحتاج إلى إزالة الغازات عن طريق طارد الغازات De-aerators ، شكل رقم 9-6 وعليه يكون ماء التغذية في وضع يسمح له بالدخول إلى وحدة التحلية .



شكل رقم 9-4 المروقات (Clarifiers)

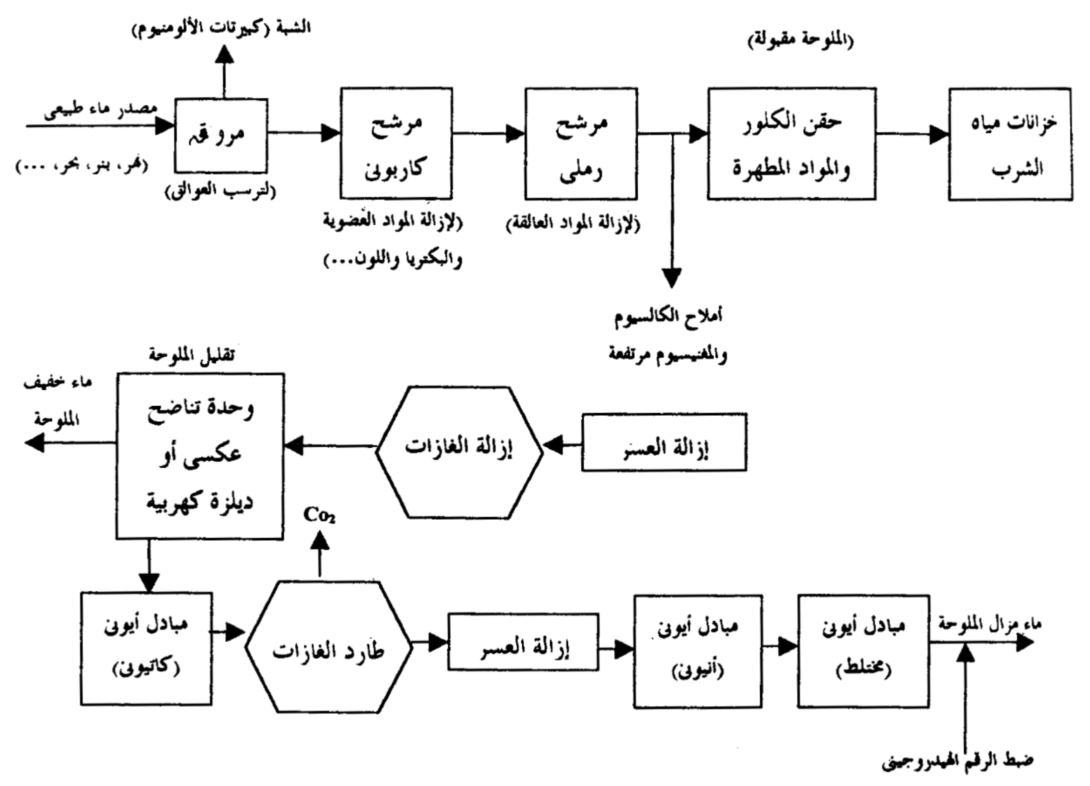


شكل رقم 5-9 مرشحات رملية (متعددة المحتوي ، Multi Media)



شكل رقم 9-6 طارد الهواء (De-aerator)

و شكل رقم ***9-7*** يوضح نموذج أخر لمسار عملية المعالجة لمياه تغذية من نهر عذب سواء لإستخدامها كماء شرب ، أو في حالة دخولها وحدة أغشية ، أو في حالة دخولها لوحدة تبادل أيوني . والجدير بالذكر أن منظومة المعالجة الأولية لمياه التغذية تحتاج أيضا إلى المكونات الأساسية لأية منظومة هندسية مثل المضخات ، والمرشحات ، والمبادلات الحرارية ، وأجهزة القياس والتحكم ، وغيرها من المكونات.



شكل رقم 9-7 تصور عام لمحطة معالجة مياه كاملة

9.10 العكارة Turbidity و طرق علاجها

تنتج العكارة من وجود مواد عالقة بالماء مما يمنع صفاءها ، ويمنع مرور الضوء أو انكساره . وهذه المواد قد تكون طمي أو رمل أو بكتريا أو غيرها . وتقاس العكارة بكمية تشتت الضوء الساقط عمودي علي كمية من الماء . وتقاس بوحدات (Naphalmetric Turbidity (NTU . وهي نسبة التشتت للضوء بالنسبة لعينة قياسية .

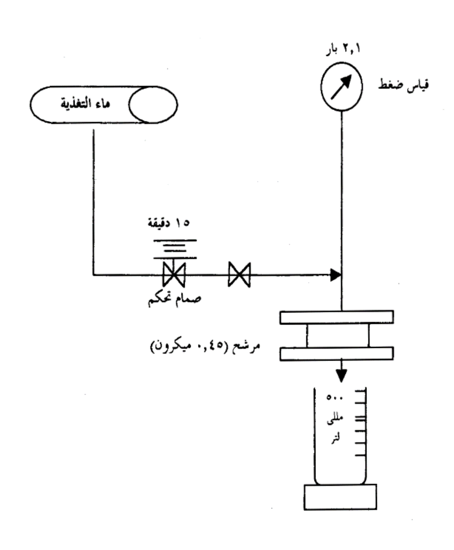
والعكارة بما تحتويه من مواد عالقة تسبب ترسبات وإنسدادات علي الأنابيب المار بها الماء وكذلك تآكل المكونات بها . وعلاج العكارة (أو المواد العالقة) هي الترسيب والترشح الرملي أو الميكروني .

9.11 إختبار SDI

يعتبر إختبار SDI (المواد العالقة بماء التغذية) من أحد المعايير الهامة للمحافظة علي كفاءة وحدة التحلية (خاصة بالأغشية) . والإختبار المسمي SDI = Silt Density index ، وهو اختبار لتحديد نسبة المواد العالقة في الماء ، وعلي أساسه تحدد حجم عمليات المعالجة الأولية المطلوبة لمياه التغذية والخاصة بإزالة المواد العالقة . ويتكون جهاز هذا الإختبار ، شكل رقم 9-8 ، من مرشح (0.45 ميكرون) ومقياس ضغط ، وصمام . ويتم الإختبار عند ضغط 2.1 بار . والإختبار عبارة عن ترشيح كمية من ماء التغذية تعادل 500 مللي لتر من خلال مرشح جديد ويقاس الزمن اللازم للترشيح (T_1) . ويترك بعد ذلك ماء التغذية ليمر خلال المرشح لمدة 15 دقيقة (يسبب إنسداد جزئي للمسام ، ومن ثم يقل معدل مرور الماء) . ثم يعاد قياس الزمن اللازم لمرور 500 مللي لتر الماء خلال المرشح (T_2). ويحسب قيمة الـ SDI كما يلي :

$$SDI = (1 - T_1 / T_2) \times (100 / 15)$$

وعندما يكون الزمن T_2 أكبر أربعة مرات من الزمن T_1 يكون مقياس SDI = 5 ، أما قيمة ال SDI التي تسبب إنسداد المرشح هي 6.7 . ولمنع إنسداد أغشية وحدة التحلية (في حالة أغشية التناضح العكسي والملفوفة حلزونيا) يلزم أن يكون قيمة مقياس العكارة SDI = 5 أو أقل ، وتكون أقل من 3 في حالة الأغشية الشعيرات المجوفة . ويلزم إجراء عملية هذا القياس والاختبار لماء التغذية أكثر من مرة (يفضل ثلاث مرات) في اليوم الواحد .



شكل رقم 9-8 : إختبار العكارة (SDI)

9.12 أنواع المرشحات (الفلاتر) المستخدمة في وحدات التحلية

تعتبر عملية الترشيح (الفلتره) الفعالة جزءا هاما وضروريا في وحدات تحلية وتنقية الماء . وتنقسم المرشحات الي مجموعتين أساسيتين :

الأولي المرشحات الرملية Sand Filters

الثانية المرشحات الخرطوشية (ذات الخراطيش) Cartridge Filters .

وتوجد أنواع وأشكال وأحجام متعددة لكلا المجوعتين ، ويمكن عرضهما بصورة مبسطة كما يلي :

9.12.1المرشحات الرملية Sand (Media) Filters

تعتبر المرشحات الرملية من المرشحات الأساسية والفعالة لكثير من وحدات تحلية المياه . وتتشابها جميعها في طريقة وفكرة العمل باستثناء المادة الوسيطة المستخدمة داخل المرشح . ويصنع جسم المرشح من الصلب أو من الخيوط البلاستيكية المقواه بالزجاج (Fiber Glass) . ولجسم المرشح فتحات لدخول الماء الخام وأخري لخروج الماء المرشح ، شكل رقم 9-5. كما يحتوي كل مرشح علي مجموعة من المواسير والصمامات التي تمكن من تحقيق عملية الغسيل العكسي Back Wash للمرشح عن الحاجة . كما يوجد داخل المرشح شبكة للتوزيع المنتظم لسريان الماء . والمادة الوسيطة للمرشح هي مجموعة طبقات من الحصي Gravel والرمل Sand بدرجات مسامية مختلفة حسب درجة نقاوة الماء المطلوبة .

9.12.2المرشحات الخرطوشية Cartridge Filter

تتكون هذه المرشحات من جزئين هما خراطيش الترشيح Cartridge والوعاء الحاوي لها . ويصنع الوعاء الحاوي أما من مادة الصلب الذي لا يصدأ أو من لدائن (بلاستيك) من البولي بروبلين والبولي كربونيت القادر علي تحمل ظروف الإستعمال القاسية والتغييرات المتكررة للحرارة والضغط . تورد الخراطيش حسب المواصفات المطلوبة لنقاوة الماء وتتراوح دقة الخراطيش بين 5 إلى 30 ميكرون (الميكرون جزء من المليون من المتر) . ويمكن إستبدال الخراطيش بسهولة عند إنسداده بالمواد الدقيقة والعالقة بالماء و يتم معرفة ذلك بارتفاع فرق الضغط للماء بين الدخول والخروج (Pressure Differential).

9.12.3مرشحات أخرى Other Filters

تستخدم بعض المرشحات الأخرى مثل مرشح الكربون المنشط Activated Carbon Filter، والذي يعمل علي التخلص من الكلور الزائد والروائح الغريبة بواسطة الإمتصاص الكيماوي . كما يستخدم مرشح إزالة الحديد Iron Removal Filter ، للتخلص من الحديد بواسطة الأكسدة والترشيح وتبطن الأجزاء الداخلية المعرضة للماء بالإبوكسي لمنع التآكل ما أمكن ذلك وأما السطوح التي يتعذر تبطينها بالإبوكسي (كالصواميل والمسامير ، وغيرها) فتصنع من مواد مقاومة للتآكل .

9.13 المعالجة النهائية Post Treatment للمياه المنتجة من وحدة التحلية

كثيرا ما تنتج محطات التحلية ماء غير صالح للإستخدام المباشر (سواء للشرب ، أو الاستخدامات الأخرى) ، مما يلزم معالجة هذا الماء المنتج وضبط خواصه وتوصيله الي الخواص المناسبة للإستخدام . ومن بعض الخواص اللازمة لضبط الماء المنتج هي :

1. الطعم ، والرائحة .
2. درجة حرارته .
3. العوالق الدقيقة والميكروبات .
4. نسب الأملاح الذائبة .
5. القلوية و الحامضية والرقم الهيدروجيني pH .
6. قدرته علي التآكل (للمعادن) .

فعلي سبيل المثال ، فإن الماء المقطر والمنتج من المحطات الحرارية يكون شرهة للتفاعل ويسبب تآكل المعادن التي يمر بها مثل (أنابيب نقل وتوزيع الماء ، والمضخات ، والخزانات ، وغيرها) . ويمكن تقليل شراهة الماء المقطر بإضافة نسبة أملاح قليلة للماء (لتصل إلى حوالي 50 جزء في المليون) . ويتم ذلك بخلط جزء صغير من ماء البحر أو البئر ثانية بالماء المنتج . وأثناء مرور الماء المنتج (في طريقها للخزانات) يتم حقن وخلط الماء المنتج بنسب محددة (حسب معدلات سريان الماء المنتج) من الجير (بكربونات الكالسيوم) ، وغاز ثاني أكسيد الكربون ، وماء البحر ، ومحلول هيبو كلوريد الصوديوم . وتوجد عادة أجهزة مراقبة وقياس لنسب الأملاح والكلور الزائد والرقم الهيدروجيني وغيرها لضبط كميات الحقن للوصول للمواصفات المطلوبة .

وفي ماء التقطير المنتج للشرب يضاف جزء من الجير (بيكربونات الكالسيوم) مع الماء المنتج لضبط نسبة الأملاح به ، ولتأثيره الجيد في طعم الماء وفي زيادة نسبة الكالسيوم ، وكذلك لضبط الرقم الهيدروجيني فى الماء المنتج من وحدات الضغط الإسموزى العكسى أما بالنسبة للاعتبارات الصحية لمياه الشرب ، فإن المواصفات المطلوبة تحدد أقصي نسب للمواد السامة والمواد العضوية والبكتريا والأملاح والطعم وغيرها.

9.14 النظم المساعدة لمحطة التحلية والغرض منها

يتكون أي مصنع أو محطة تحلية من مجموعة من النظم بعضها أساسي Main Systems ، والأخر مساعدة (Auxiliary Systems) . وتتكون كل منظومة من مجموعة من المكونات ، والآلات ، متصلة بأنابيب ومواسير . والنظم المساعدة تدعم عمل النظم الأساسية لرفع كفاءتها وتامين سلامتها . ومن أمثلة النظم المساعدة في محطات التحلية الحرارية (علي سبيل المثال) :

1- منظومة دخول ماء البحر (Intake System)

تمد هذه المنظومة المحطة بماء البحر سواء التبريد ، أو كمصدر ماء تغذية للمحطة . كما أنها تجهز هذا الماء بالمعالجة الأولية ليصبح صالحا لدخول المحطة .

2- منظومة معالجة الماء المنتج (Post Treatment)

تعالج هذه المنظومة الماء المنتج من الوحدة ليصبح صالح للإستخدام سواء كماء شرب أو غيره . وتضاف العناصر اللازمة للحصول علي الماء المطلوب .

3- منظومة إزالة المعادن (Demineralized Water System)

تحتاج الغلايات البخارية إلى ماء خالي تماما من المعادن والأملاح حتى أن ماء المحطات الحرارية (التقطير) تحتاج إلي إزالة أملاحها . وهذا هو الهدف من هذه المنظومة . كما يستخدم الماء الخالي من الأملاح في عمليات تبريد المكونات الحساسة مثل كراسي المضخات والتوربينات والضواغط وتحتوي المنظومة علي مبادلات أيونية ومرشحات وغيرها .

4- منظومة الهواء المضغوط (Compressed Air)

تمد هذه المنظومة الهواء المضغوط لعدد من المكونات مثل أجهزة القياس Pneumatic، والغلايات (لتذرير الوقود السائل ، وتنظيف الأنابيب) وغير ذلك . وتحتوي المنظومة علي ضاغط ومبردات وخزانات هواء مضغوط .

5- منظومة مكافحة الحرائق Fire Fighting System

تمد المحطة بالماء اللازم لإطفاء الحرائق .

9.15 المكونات المساعدة المستخدمة في محطات التحلية

تتكون النظم المساعدة والأساسية من مجموعة الآلات Equipment والمكونات Components المتصلة فيما بينها بواسطة الأنابيب والمواسير Pipes ، وتشمل هذه المكونات :

1- آلات دوارة Equipment Rotating لدفع السوائل والغازات مثل المضخات والمراوح والضواغط شكل رقم 9-9و شكل رقم 9-10

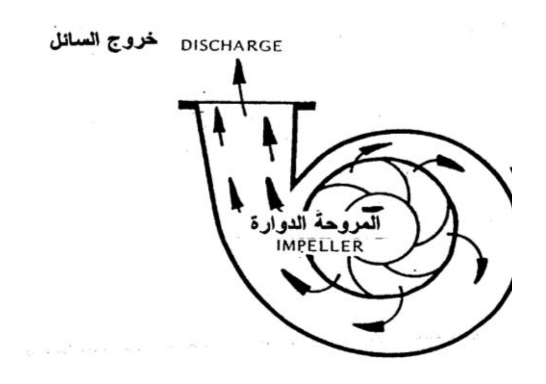
2- آلات ثابتة Equipment Stationary ، مثل المبادلات الحرارية شكل رقم 9-11 ، الخزانات والمبادلات الأيونية .

3- المحركات Drivers ، مثل التوربينات البخارية ، التوربينات الغازية ، محركات الديزل ، الموتور الكهربائي ، شكل رقم 9-12 .

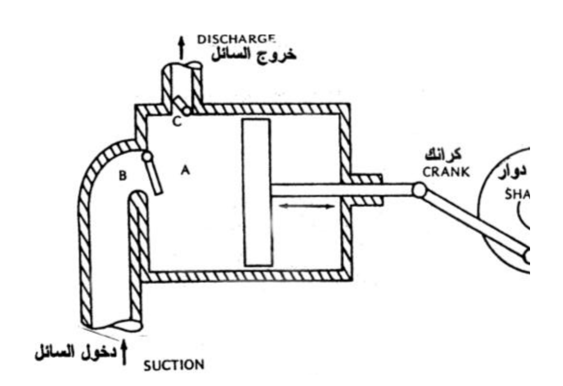
4- المكونات المساندة Ancillary Compose ، مثل مصائد البخار ، فواصل الرزاز ، المرشحات والمصافي ، شكل رقم 9-13

5- أجهزة القياس والتحكم ، أجهزة القياس والضغط ، درجة الحرارة وسريان الموائع وغيرها .

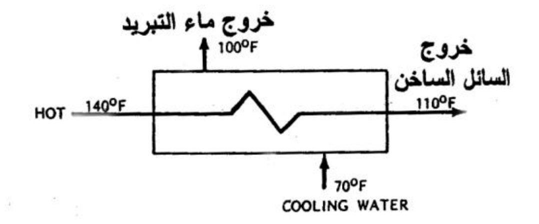
6- المواسير وملحقاتها مثل الصمامات ، والوصلات ، والمساند ، ووصلات التمدد ، شكل رقم 9-14 .



شكل رقم 9-9 مضخة طاردة مركزية

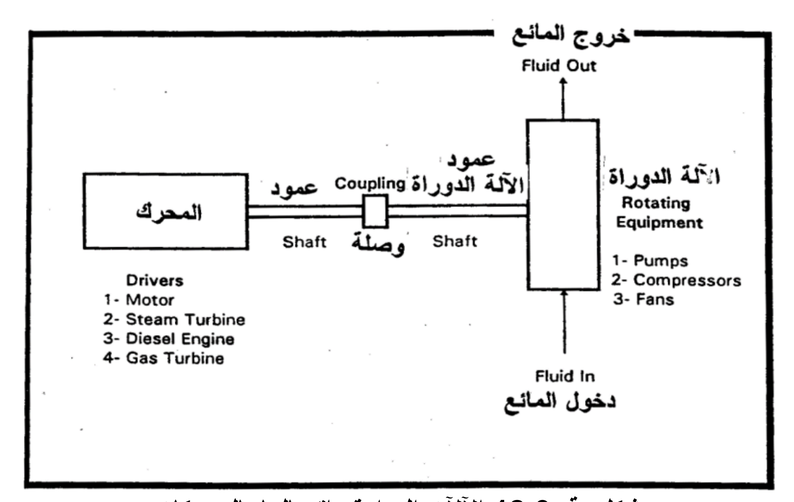


شكل رقم 9-10 مضخة ترددية

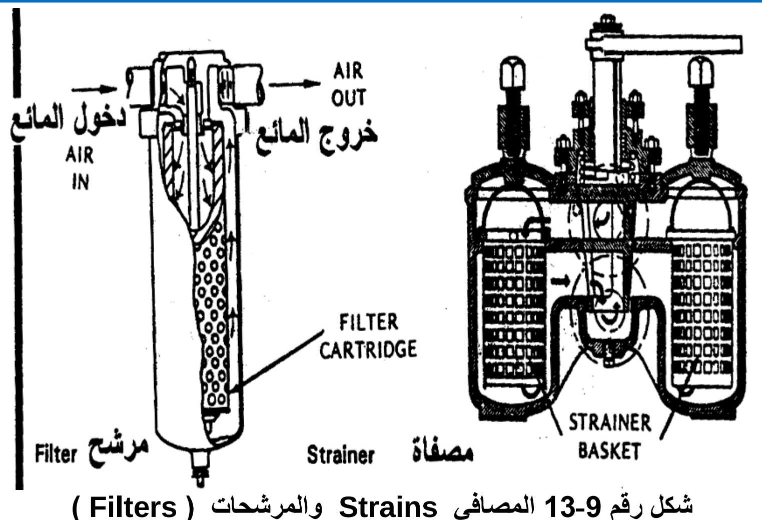




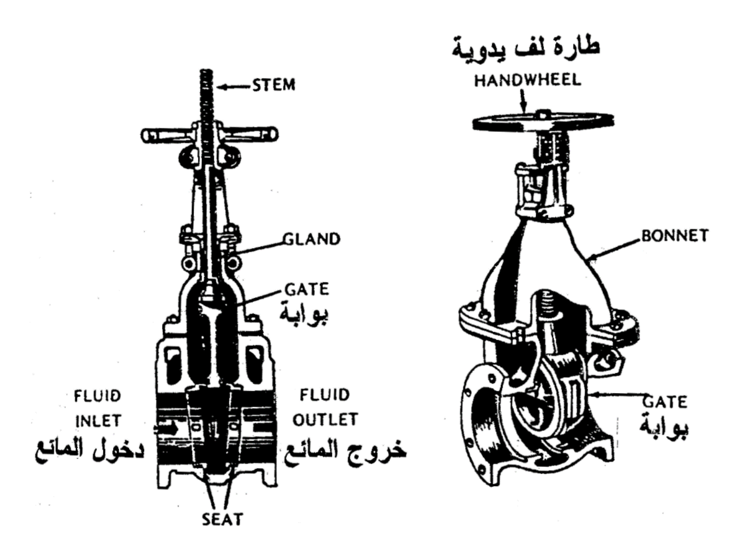
شكل رقم 9-11 نموذج المبادلات الحرارية (مبرد زيت)



شكل رقم 9-12 الآلآت الدوارة وإتصالها بالمحركات



شكل رقم 9-13 المصافي Strains والمرشحات (Filters)



شكل رقم 9-14: صمامـــات Valves

10أهم المشاكل التي تواجه عمليات التحلية

10.1 التآكل

10.1.1تعريف التـآكل

هو انهيار المنشآت المعدنية نتيجة حدوث تفاعلات كيميائية و كهر وكيميائية بين المنشأ المعدني و الوسط المحيط به حيث يتحول الفلز من الحالة الذرية إلى الحالة الأيونية القابلة للذوبان في الماء و التآكل يؤدي لخفض كفاءة المعدة و انهيارها كما يؤدي إلى تلويث الناتج و يزيد من التكلفة الإقتصادية للوقاية منه و لعمليات الإحلال و التجديد للمعدات التالفة كما يؤدي إلى إهدار الثروة المعدنية و حدوث الحوادث و الانفجارات .

وتتآكل المعادن بدرجة عالية في مياه البحر عموماً , و تتفاقم مشاكل التآكل في المياه المالحة في وحدات إعذاب المياه المالحة و تتعرض الإنشاءات المعدنية في هذه الحـالات لكل أنـواع التآكل غالبـاً أي التآكل العام (المنتظم) و الجلفانى و الإجهادى ....الخ و أن كانت خطورة كل هذه الأنواع تتفاوت حسب نوع المعدن , و طبقـاً للمعالجـات الحراريـة و الميكانيكيـة التـى تتعـرض لهـا , كمـا تختلـف حسـب ظـروف التشغيل.

و يعتبـر مـاء البحـر وسطـاً شرسـاً يهـاجم الكثيـر مـن المعـادن وذلـك لعوامـل كثيـر منهـا التركيـز العـالي للأملاح و على الخصوص وفرة أيون الكلور يد (نحو 0.55 عياري) و موصليته الأيونيـة العاليـة ووفرة الأكسجين الذائب (نحو 10 أجزاء في المليون) اللازمة لإتمام التفـاعلات الكاثوديـة فـي عمليـة التآكل . و تساهم قلـة وجود بعض المواد المثبطـة لتفـاعلات المـواد المسببة للتآكل فـي مـاء البحـر مثـل الفوسفات و السليكات و الكربونات و الهيدروكسيل في زيادة مقدرته على مهاجمة المعـادن و على أن وجود بعض الأيونات المسببة للقشور مثل البيكربونات و بعض الكائنات البحرية على السطوح إلا أنه تنشأ عن ذلك مشاكل متعددة .

و تؤدي ظروف التشغيل في محطات إعذاب المياه الملحة (بالتقطير) إلى تفاقم مشاكل التآكل و تنوعها و من العوامـل التـي تسـاهم فـي ذلـك إرتفـاع درجـة الحـرارة و إنخفـاض الأس الهيدروجيني (المعالجـة الحمضية) و زيادة تركيز أيونات الكلور يد و تسرب الهواء إلى النظام المخلخل ووجود الغـازات غيـر المتكثفـه مثـل ثـاني أكسـيد الكربـون و التآكـل البخـاري و يسـتدعي ذلـك أن يكـون مهنـدس التشـغيل (و التصميم قبل ذلك) على دراية كاملة بتغيير هذه العوامل من خـلال أجهـزة القيـاس و التسـجيل التـى تساعد في مراقبة كيمياء الماء المركز خلال مراحل الإعذاب المختلفة .

و يستحسن أن يكون مهندس التحلية على وجه الخصوص على دراية كاملة بالأسس العلميـة و الهندسـية لإختيار المواد اللازمة لتصنيع المعدات و الأنابيب و أجهزة القيـاس و التحكم و كذالك القواعد السليمة لإجراء الوصلات و اللحامات و تأثير ذلك على إحتمالات التعرض للتآكل .

10.1.2 أنواع التآكل في المياه المالحة

10.1.2.1 التآكل العام (المنتظم)

يعتبـر التآكـل العـام (المنـتظم) مـن أكثـر أنـواع التآكـل شـيوعاً فـي مـاء البحـر إذ يكـون معـدل الـذوبان متجانساً تقريباً على سطح المعدن و يعزي 30 % تقريباً من حالات التآكل في مـاء البحـر إلـى التآكـل المنتظم و نظـراً لـدور غـاز الأكسـجين فـي إتمـام التفـاعل الكـاثودى فـإن تـوافر الأكسـجين فـي مـاء البحـر

يعجل التآكل المنتظم و تقاسي المعادن من التآكل المنتظم بمعدلات متقاربـة فـي الأنـواع المختلفة من مياه البحر على الرغم من إختلاف درجـة الملوحـة و العوامل البيولوجيـة و الإختلاف الطفيف في درجات الحـرارة و من المعروف أن معدل التآكل يتزايد مع التركيز الملحـي حتـى 3 % تقريباً (أي 30.000 جزء في المليون) ثم لا يتأثر كثيراً بزيادة التركيز.

و يشيع هذا النوع من التآكل مع سبائك الصلب الخفيفة الكربـون و النحـاس و سبائكه و يعتبـر الصلـب الكربونـي العادي أقل المعادن مقاومة للتآكل المنتظم و يؤخذ في الاعتبار سماح تـآكلي قدرة 10 مم في سمك الجدار الصلب لغرف التبخير الوميضى في محطات الإعذاب على مدي عمر الغرفة الإفتراضـي (25سنة) و يوضح الجدول رقم 10-1 متوسط معدلات التآكل المنتظم لبعض المعادن في ماء البحر.

جدول رقم 10-1 : متوسط معدلات التآكل المنتظم لبعض المعادن في ماء البحر.

المعدن	معدلات التآكل ميكرومتر / سنة
الصلب الكربوني العادي	300 – 80
الحديد الزهر	200 – 60
النحاس الأصفر	60 – 20
البرونز	30 – 15
برونز الألومنيوم	50 – 10
النحاس	80 – 10
سبيكة النحاس نيكل 90 – 10	50 – 5
سبيكة النحاس نيكل 70 – 30	أقل من 2.5
صلب لايصدأ	أقل من 1
سبيكة نيكل - كروم	أقل من 1

10.1.2.2 التآكل الجلفانى

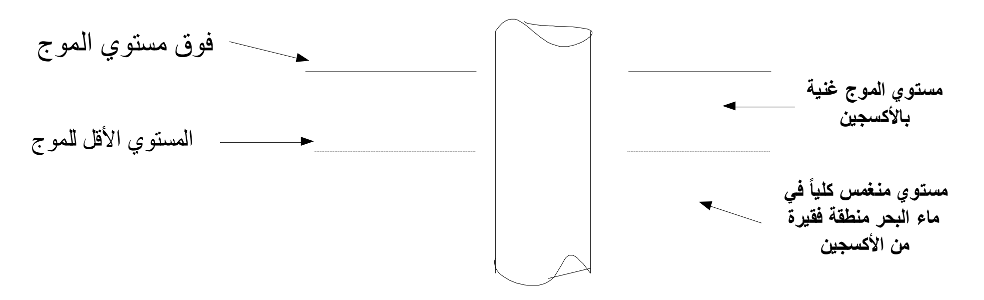
ينشأ التآكل الجلفانى من الازدواج الجلفانى بين المعـادن المختلفة فـي وحدات الإعذاب حيث تكون كل الوحدات و الأجزاء المعدنية موصلة كهربائياً بـالأرض و بسبب الموصلية العالية لماء البحر (و قد تتسبب الازدواج مع لا فلز مثل الكربون في حدوث التآكل الجلفانى لأن الكربـون موصـل جيد و يصلح حاملا لغاز الأكسجين مما يسهل التفاعل الكاثودى) و تتأثر شدة تيار التآكل الجلفانى بعاملين هما فرق الجهد بين الكاثود و الأنود و النسبة بين مساحتي سطح كل منهما و عندما تكون مساحة سطح الكـاثود / مساحة سطح الأنود كبيرة فإنه يكفي فرق الجهد في حدود 0.3 فولت لإحداث تيار تآكل جلفانى مؤثر و تلافياً لزيادة شدة تيار التآكل علـى الأنـود فإنـه ينبغـي أن تكون مساحـة سطح الأنـود كبيرة جداً بالنسبة لمساحة سطح الكاثود .

وتوجد عدة أنواع من التآكل الجلفاني كالآتى:

1- خلايا فرق التركيز فى الأكسجين.

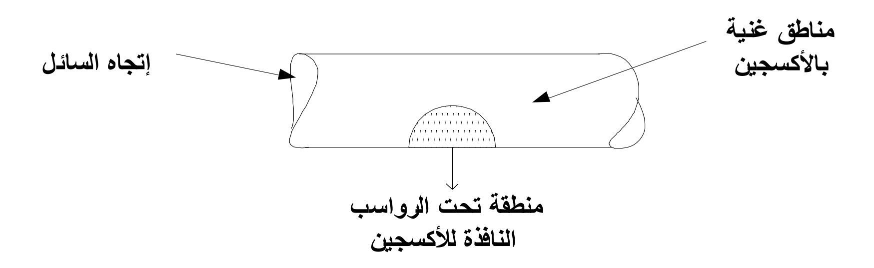
و تنشأ فى حالة وجود فرق فى تركيز الأكسجين على الأجزاء المختلفة للجسم المعدنى و الآتى بعد أمثلة عملية على التآكل نتيجة إختلاف تركيز الأكسجين.

أ- شكل رقم 10-1 يوضح تآكل ماسورة حديد تحت مستوى الموج.



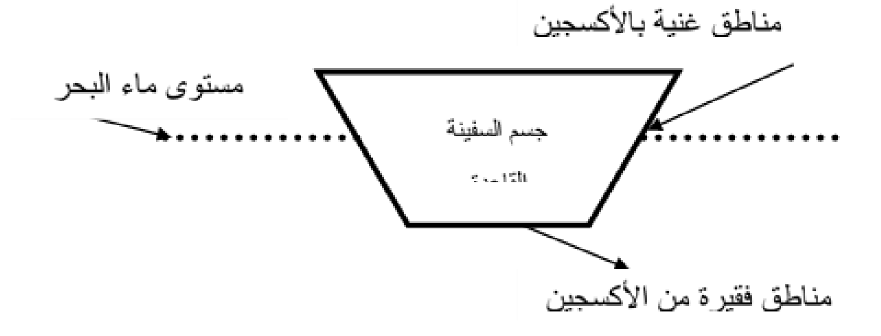
شكل رقم 10-1 - تآكل ماسورة حديد تحت مستوى الموج.

ب- شكل رقم 10-2 يوضح تآكل داخلي لخط أنابيب



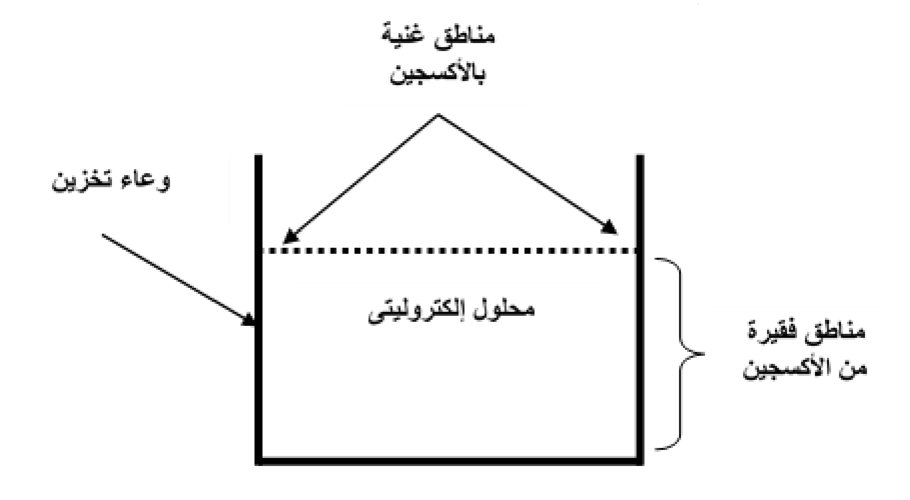
شكل رقم 10-2 تآكل داخلي لخط أنابيب.

ج- شكل رقم 10-3 يوضح تآكل قاعدة السفن.



شكل رقم 10-3 تآكل قاعدة السفن.

د- شكل رقم 10-4 يوضح تآكل أوعية تخزين المياه

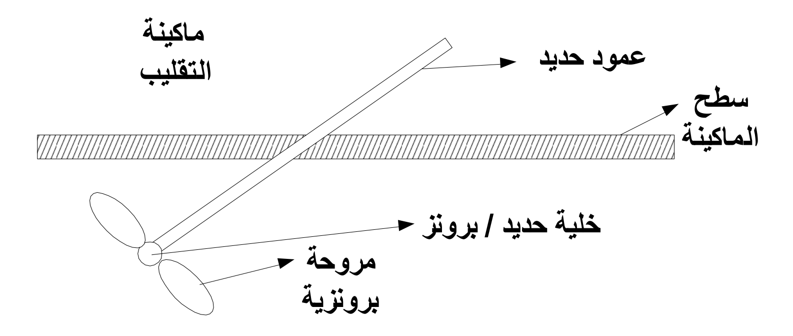


شكل رقم 10-4 تآكل أوعية تخزين المياه

2- خلايا المعادن الغير متماثلة

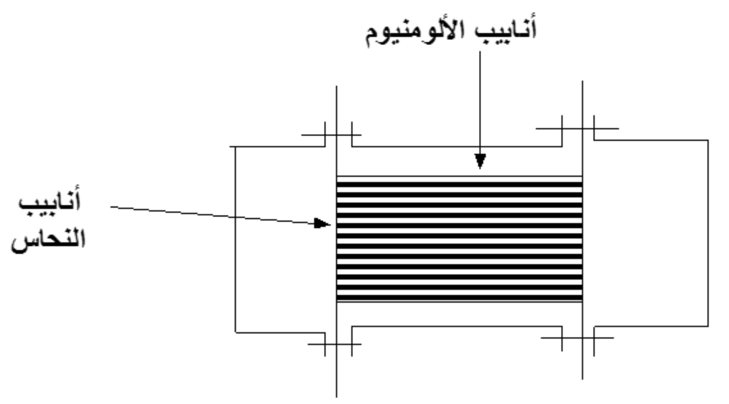
- أمثلة عملية للخلايا المزدوجة bimetallic cell

أ- الحديد أقل نبلاً من البرونز أي أكثر نشاطاً منه لذلك يعمل كأنود قطب موجب و البرونز يعمل ككاثود أي قطب سالب شكل رقم 10-5 يوضح الخلايا المزدوجة.



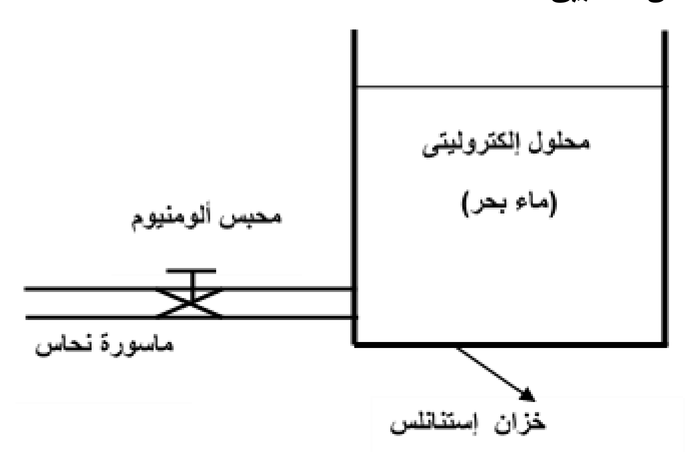
شكل رقم 10-5 الخلايا المزدوجة

ب- - يعمل النحاس كقطب سالب (كاثود) لأنة أكثر نبلاً من الألومنيوم الذي يعمل كقطب موجب شكل رقم 10-6 يوضح الخلايا المزدوجة في المبادلات.



شكل رقم 10-6 : الخلايا المزدوجة في المبادلات.

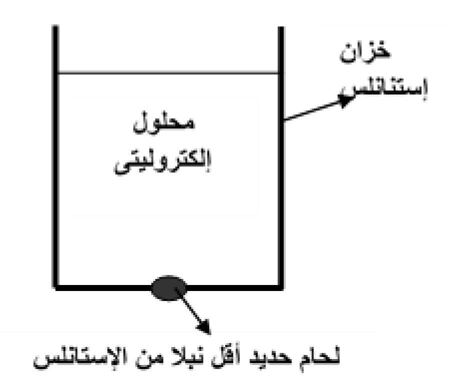
ج- يعمل النحاس بخليتين إحداهما مع الحديد و هي الأقل و الأخرى مع الألومنيوم و هي الأكثر و ذلك لزيادة فرق الجهد عنه في خلية الحديد و النحاس شكل رقم 10-7 يوضح عدة خلايا في نفس التطبيق.



شكل رقم 10-7 : عدة خلايا في نفس التطبيق.

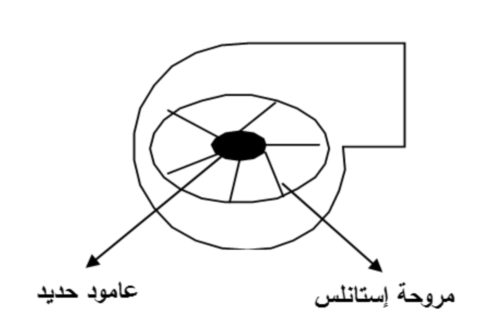
3- خلايا فرق الإجهاد.

أ- تحدث خلية جلفانية نتيجة فرق الإجهاد بين لحام الحديد و الجسم الإستانلس شكل رقم 10-8 يوضح فرق الإجهاد بين الإستانلس والنحاس.



شكل رقم 10-8 : فرق الإجهاد بين الإستانلس والنحاس.

ب- مضخة بعامود من الحديد و مروحة من الاستانلس نتيجه لفرق الجهد بينهما تنتج خلية جلفانية، شكل رقم 10-9 يوضح فرق الإجهاد داخل المضخة.



شكل رقم 10-9 : فرق الإجهاد داخل المضخة.

4- شرح الخلايا المتكونة نتيجة إختلاف تركيز الأكسجين (Differential Aeration Cells).

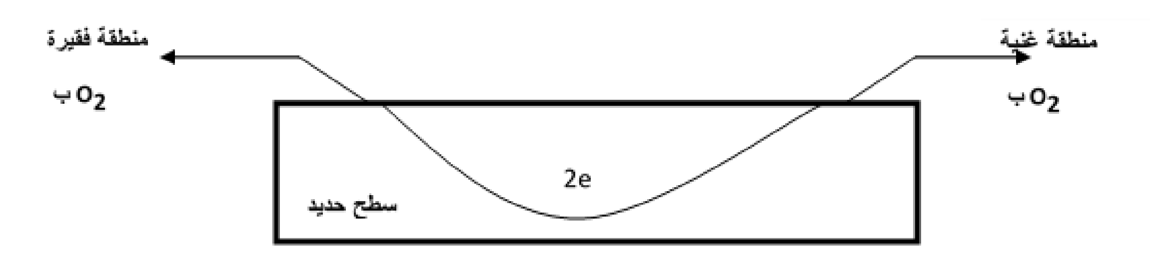
Steal (O_2 poor area) / electrolyte (ماء البحر) / steal (O_2 rich area)

التفاعلات التى تتم

أ- القطب الموجب anode (O_2 poor area)

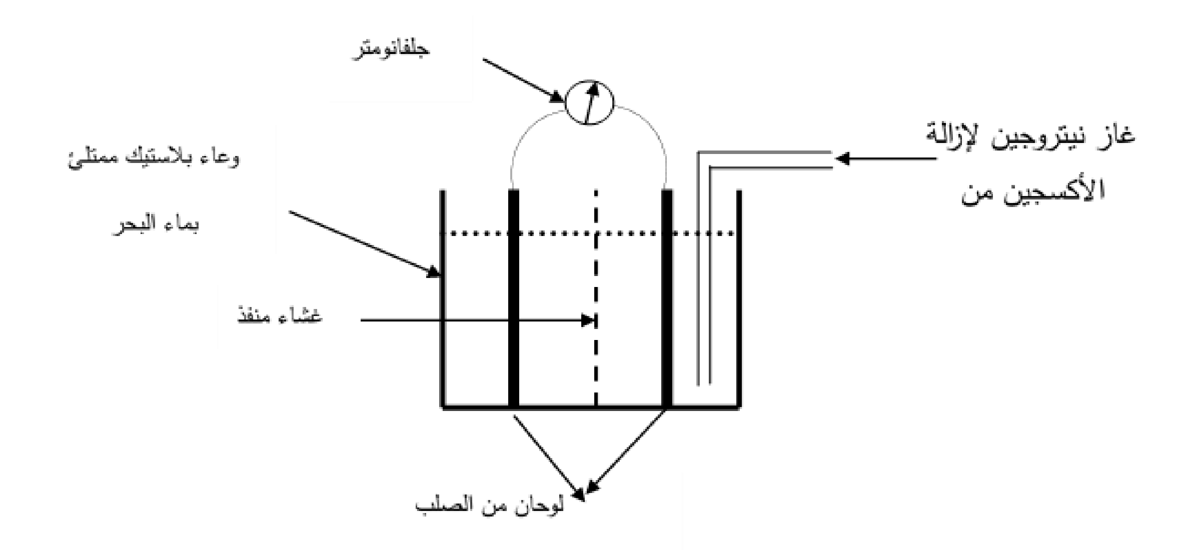
ب- القطب السالب cathode (O2 rich area)

شكل رقم ***10-10*** يوضح الخلايا المتكونة نتيجة إختلاف تركيز الأكسجين



شكل رقم 10-10 : الخلايا المتكونة نتيجة إختلاف تركيز الأكسجين.

5- تجربة معملية توضح تأثير إختلاف الأكسجين المكون للخلية الجلفانية طبقاً للشكل رقم 10-11 و نلاحظ تحرك الجلفانومتر مما يدل على وجود خلية كهربائية



شكل رقم 10-11 : تأثير إختلاف الأكسجين المكون للخلية الجلفانية.

10.1.2.3 التآكل الإنتقائي

يعتبر التآكل الإنتقائي من أنواع التآكل في السبائك حيث يتآكل المكون النشيط (القاعدي) للسبيكة بمعدل أعلى بكثير من المكون الأكثر خمولاً و المثال المباشر على ذلك هو الإفقار الزنكي (في سبيكة النحاس الأصفر المكونة من 70 % نحاس و 30 % زنك) و يحدث ذلك في كثير من السبائك و يعرف أحياناً بالإفقار السبيكي أو النض الانتقائي فهناك الإفقار النيكلي و الإفقار الألومنيومي و الإفقار الكوبالتى ... الخ .

و يعتبر الإفقار الزنكي من أهم الأنواع هنا و قد يكون منتظماً أو موضعياً و قد أدي هذا النوع من التآكل إلى دراسة تطوير النحاس الأصفر بهدف الحصول على سبائك أكثر مقاومة للتآكل الانتقائي في ماء البحر و في أنابيب المبادلات الحرارية و المكثفات في منشآت الإعذاب و تؤدي إضافة القصدير (1 %) و الزرنيخ (0.03 – 0.05 %) و الفسفور و الانتيمون إلى تحسين خواص النحاس الأصفر لهذه الاستخدامات و يتوفر ذلك في سبائك النحاس الأصفر الأميرالي (70 نحاس 29 زنك 1 قصدير) و الأميرالي الزرنيخي (70 نحاس 29 زنك 1 قصدير 0.04 زرنيخ) و السبيكة (77 نحاس 21 زنك 2 ألومنيوم 0.03 زرنيخ)

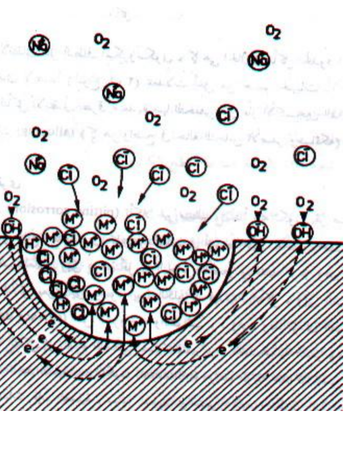
و تعتبر الجرفتة أي التآكل الجرافيتى أحد أنواع التآكل الانتقائي و أن كانت التسمية تشير إلى عكس ما يحدث إذ تعنى هذه الظاهرة ذوبان الحديد انتقائياً في الصلب و الحديد الزهر تاركاً الجرافيت الأمر الذي يؤدي إلى تغير لون السطح بشكل واضح و تحول المعدن إلى مادة هشة إسفنجية و قد يحدث التآكل الانتقائي على النطاق الميكروسكوبي كما هو الحال في تآكل الحدود الحبيبة في بعض أنواع الصلب الذي لا يصدأ بمعدلات أعلى من جسم الحبيبات و يمكن التحكم في التآكل الانتقائي بطرق متعددة منها التخلص من غاز الأكسجين الذائب و الوقاية الكاثودية و السبك .

10.1.2.4 التآكل النقري

يعتبر التآكل النقري تآكلا غير منتظم ينشأ عنه تكون نقرة صغيرة على سطح المعدن و هو شائع الحدوث في كثير من المعادن في أوساط المياه المالحة و بالخصوص الصلب الذي لا يصدأ و الصلب العادي ة إلى درجة أقل في النحاس الأصفر و الحديد الزهر و غيرها و هو نوع فريد من التآكل يعزي إلى وجود أيون الكلوريد في بيئة التآكل و إلى العيوب السطحية من المعدن مثل الشروخ و الشوائب ... الخ و قد تؤدي العوامل المتعلقة بالسطح المعدني و بيئة التآكل إلى البدء اللحظي لعملية التنقير ثم تأخذ عملية التنقير و نموها مداها بسرعة لا متناهية و قد تأخذ عملية بدء التكون فترات طويلة جداً قد تصل إلى عدة سنوات ولكن متى بدأت فإن العملية (عملية الذوبان و استمرار التنقير) تكون آلية الحفر.

و تنمو النقر عادة في اتجاه الجاذبية الأرضية أي أنها تتكون و تنمو إلى أسفل على السطوح الأفقية و في أحوال قليلة تنشأ على السطوح الراسية و نادراً ما تنمو إلى أعلى على السطوح الأفقية على السقوف مثلاً

و يعطي الشكل القادم توضيحاً مبسطاً لنقرة تكونت عل سطح فلز M عند غمره في محلول ملح مهوى من كلوريد الصوديوم حيث يحدث تآكل سريع للمعدن في قاع النقرة في حين يتم إختزال الأكسجين (التفاعل الكاثودي) في المناطق السطحية المجاورة للنقرة و تستمر العملية بنشاط حيث يميل أيون الكلوريد إلى الإنتشار صوب قاع النقرة لمعادلة أيونات الفلز الموجبة و بالتالي فإن تركيز كلوريد الفلز MCl يتزايد في النقرة مما يؤدي إلى تزايد معدل الذوبان أي التفاعلات الأنودية (في قاع النقرة) و التفاعلات الكاثودية (على حافتها) و يتأثر معدل تكون النقر و نموها بعوامل متعددة ذات علاقة بوسط التآكل و المعدن المعرض للتآكل و لقد بينا أن أيون الكلوريد ذو خطر عظيم وهو موجود بوفرة في ماء البحر و إلى حد أقل في الماء الأخضم و تعتبر كلوريدات الفلزات الثقيلة كالحديد و النحاس أكثر شراسة في هذا الصدد من مركبات كلوريد الصوديوم و الكالسيوم على سبيل المثال شكل رقم 10-12.



شكل رقم 10-12 : التآكل النقري.

و تؤثر سرعة سريان وسط التآكل على معدل التنقير سلبياً أي كلما زادت السرعة قل معدل التآكل و تكون المعدلات عالية جداً في المياه الراكدة و يتضح ذلك في الصلب الذي لا يصدأ في المنشآت البحرية ووحدات تقطير الماء الملح . و تتأثر المعادن المستخدمة في المياه الملحة بظروف إنتاجها و السبائك المضافة و المعالجة الحرارية و التشغيل على البارد و الإجهادات المختلفة ...الخ ومن المعلوم أن معالجة الصلب الذي لا يصدأ باستثارة حساسيته عند 510 – 787 مئوية يؤدي إلى تدهور مقاومة للتنقر أما إذا عولجت بطريقة السقاية المعروفة بالتسقية المحلولية عند حوالي 1093 مئوية فإن مقاومتها للتنقر تتحسن إلى حد كبير .

و لا تستخدم الطرق التقليدية (النقص في الوزن و فقد السمك إلى آخره) في قياس معدل التنقر بل يستدل على ذلك بقياس عمق النقرة (متوسط العمق و العمق لأقصى) وقطرها و كثافة التنقر (أي عدد النقر في وحدة المساحات) .

و يوضح جدول رقم 10-2 معدلات التنقر لبعض المعادن في ماء البحر

ومن السبائك المقاومة للتآكل بالنقر سبيكة الصلب الذي لا يصدأ 316 المضاف إليها الموليبدنوم و سبائك النيكل و التيتانيوم و غيرها .

جدول رقم 10-2 : معدلات النقر لبعض المعادن فى ماء البحر الراكد (أو بطئ الحركة).

المعدن	معدلات التآكل ميكرومتر / سنة
الصلب العادي	800 – 400
صلب متبق على سطحه قشور الأكسيد نتيجة الدلفنة	1000 – 500
حديد زهر	300 – 100
النحاس	300 – 100
النحاس الأصفر	300 – 150
سبيكة نحاس - نيكل	150 – 30
صلب لا يصدأ	1800 – 1500
حديد زهر أو ستيتي	1800 – 50
التيتانيوم	مقاوم
سبيكة النيكل – مولبدنم - كروم	مقاوم

10.1.2.5 التآكل التحاتي

و التآكل التحاتي و هو التآكل المتسارع للمعادن نتيجة السريان السريع لوسط التآكل على سطح المعدن و ينشأ عن ذلك السحج أو البلي مقترناً بالتفاعلات الكيميائية الأمر الذي يؤدي إلى إزالة بعض الأجزاء السطحية من المعدن أو من طبقة الأكسيد الواقية (كما يحدث في الصلب الذي لا يصدأ و الألومنيوم و الرصاص) و تعتمد مقاومة المعدن للتحات على خواص طبقة الأكسيد و تماسكها و مدي مقاومتها للتأثيرات الميكانيكية الناجمة عن حركة المائع السريع و على سبيل المثال أن التيتانيوم يعد من أكثر المعادن مقاومة للتحات و ذلك لمقاومة طبقة أكسيد التيتانيوم Tio2 العالية للبلي .

و يتميز هذا النوع من التآكل بظهور التموجات(waves) والأخاديد (grooves) و الثقوب الدائرية على سطح المعدن وفي نمط إتجاهي (directional pattern) و تشيع هذه الصورة من التآكل في المعدات المستخدمة في الأوساط الملحة ذات السريان العالي مثل الانحناءات(bends) و الكيعان (elbows) و المقاطع التائية (tees) و الصمامات و الطلمبات و الدفاعات المروحية (impellers) و الرفاسات (propellers) و الأوعية المقلبة(agitated vessels) و أنابيب المبادلات الحرارية و نصال التوربينات(turbin blades) و الفوهات و الخ... و لا تتزايد

معدلات التحات كثيراً – عادة – قبل وصول المائع إلى سرعة معينة تعرف بالسرعة الحرجة يوضح الجدول رقم 10-3 : تآكل لبعض المعادن المستخدمة في ماء البحر عند السر عات المتنوعة.

جدول رقم 10-3 : تآكل لبعض المعادن المستخدمة في ماء البحر عند السر عات المتنوعة.

المعدن	معدلات التآكل ملئ جرام / ديسميتر / يوم		
	0.3 متر / ث	1.2 متر / ث	8.1 متر / ث
الصلب العادي	34	72	254
حديد زهر	45	–	270
برونز السيلكون	1	2	343
النحاس الأصفر الأميرالي	2	20	170
البرونز الهيدرولي	4	1	339
برونز	7	2	280
برونز الألومنيوم (10 % ألومنيوم)	5	–	236
النحاس الأصفر – ألومنيوم	2	–	105
90 نحاس , 10 نيكل , 0.8 حديد	5	–	199
90 نحاس , 10 نيكل , 0.8 حديد	2	–	199
90 نحاس , 10 نيكل , 0.8 حديد	أقل من 1	أقل من 1	39
سبيكة المونل	أقل من 1	أقل من 1	4
صلب لا يصدأ نوع 316	1	صفر	أقل من 1
هيستلوي	أقل من 1	–	3
التيتانيوم	صفر	–	صفر

و هناك أنواع متعددة من التحات منها :

1- التحات الدوامي (turbulent corrosion) :

الناتج عن الدفق الدوامي و هو شائع الحدوث في مدخل أنابيب المكثفات و المبادلات الحرارية و يسمي inlet tube corrosion حيث ينحصر التآكل في عدة سنتيمترات عند مدخل الأنبوبة .

2- التآكل الارتطامي (impingement corrosion):

و ذلك في المناطق التى تحول فيها سريان المائع مثل الكيعان و المقاطع التائية و الانحناءات و نصال التروبينات البخارية و دفاعات الطلمبات و القفاسات (فاصلات السوائل المسحوبة) .

3- التآكل التكهفي (cavitation corrosion) :

و هو الناتج عن تكون الفقاعات البخارية و انهيارها قرب سطح المعدن (بسبب الفرق في الضغط الهيدروديناميي) مما يؤدي إلى تحطيم الطبقية الأكسيدية الواقية و هو شائع الحدوث في التوربينات الهيدرولية ورفاسات البواخر و دفاعات الطلمبات ...الخ .

4- التآكل الاحتكاكي (fretting corrosion) :

ذلك ينشأ بالاحتكاك الاهتزازي و الانزلاق بين السطوح المعرضة للأحمال في أوساط التآكل و ذلك يحدث عادة في الأجزاء الذاتية الحركة و المكنات ...الخ و يكون التآكل في هذه الحالة على هيئة نقر و أخاديد.

5- التآكل الفجوي :

و يحدث التآكل الفجوي على سطح المعادن في المناطق الضيقة التى يتعذر وصول الأكسجين إليها (أو يصل بكميات ضئيلة) و تصبح بذلك أنودات في حين تكون الكاثودات هي باقي سطح المعدن المحيط بها و التى يتوفر فيها الأكسجين و يحدث ذلك في الشقوق و الفجوات و الصدوع الصغيرة و تحت قشور الأكسيد الصلبة و تحت الرواسب الملحية و الشوائب و القاذورات الصلبة الملتصقة على السطح و تسمي هذه المناطق مناطق التهوية التفاضلية . و في هذه الظروف تكون شدة التيار الأنودي عالية جداً و ذلك لصغر مساحة الأنودات (قاع شرخ شعري مثلا) و لذا فإن معدل ذوبان المعدن يكون عالياً جداً و قد يؤثر هذا التيار الأنودي (في ماء البحر) إلى الثقب التام لجزء سميك من الصلب في هيكل سفينة في خلال عام واحد و يلاحظ هذا النوع من التآكل عملياً في السطوح الداخلية لمسامير الربط و البرشام أي الملامسة للسطح المعدني و في الوصلات المشفهة و تحت حلقات الربط و تحت الحشيات و تحت الرواسب الملحية و في البطانات المعدنية التى تتم باللحام النقطى و تتعرض سبائك الألومنيوم و النحاس و الصلب و غيرها لهذا النوع من التآكل .

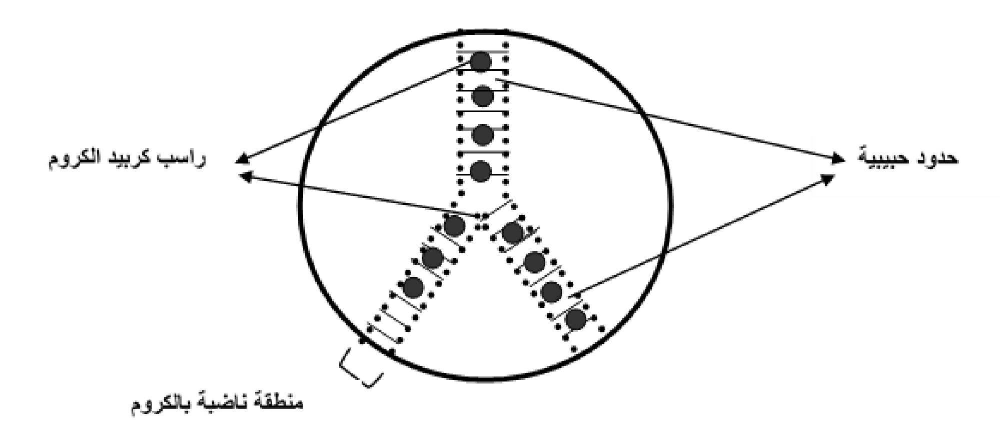
6- التآكل بين الحبيبي

ينشأ التآكل بين الحبيبي في المعادن و السبائك التى تكون فيها الحدود الحبيبية نشيطة جداً بالنسبة إلى باقي جسم الحبيبات و هنا تتكون خلايا جلفانية بين هذه الأجزاء (الأنودات) و باقي السطح و تؤدي إلى معدل تآكل بين حبيبي عال وقد يرجع نشاط الحدود الحبيبية إلى تركيز الشوائب بها أو إلى تركيز (أو نقص) أحد إضافات السبك و على سبيل المثال فإن وجود الحديد بكميات ضئيلة في الألومنيوم يؤدي إلى إنعزالة على الحدود الحبيبية للألومنيوم وإلى زيادة النشاط الحبيبي و كذلك فإن تركيز الزنك على مناطق الحدود الحبيبية في النحاس الأصفر يكون أعلى من تركيزة في جسم الحبيبات أما في حالة الصلب الذي لا يصدأ (النوع 304 : 18 – 8) فإنه يعاني من الإنضاب الكرومي إذا عولج حرارياً بالاستثارة عند 510 787 مئوية حيث يؤدي المعالجة إلى ترسيب

كربيد الكروم على الحدود الحبيبية الأمر الذي يؤدي إلى نضوب هذه المناطق من الكروم أو حرمانها بالكامل منه (يصل التركيز أحياناً إلى صفر %) و بالتالي تصبح مناطق أنودية نشيطة شديدة الميل إلى التآكل و تعالج هذه الظاهرة في الصلب الذي لا يصدأ بمعالجته حرارياً عند نحو 1093 مئوي ثم تسقيتة في الماء أو بإضافات عناصر السبك الشرهة للكربون مثل التيتانيوم و التانتالوم و الكلومبيوم حيث تمتص الكربون الزائد تاركة الكروم و يمكن كذلك تحسين خواص هذا النوع من الصلب بالتخلص من الكربون حتى تصبح نسبته أقل من 0.02 % .

7- التآكل البكتيري اللاهوائي

يحدث التآكل البكتيري اللاهوائي في بعض المياه الملحة التى تقل بها نسبة الأكسجين الذائب المحتوية على البكتيريا اللاهوائية التى تسبب تأكلا في بعض المعادن و بعض هذه البكتريا له القدرة على اختزال الكبريتات إلى كبريتيد الهيدروجين الذي يسبب تأكل سبائك النحاس حيث يؤدي الغاز إلى تكوين قشرة مسامية من كبريتيد النحاس على سطح المعدن، شكل رقم 10-13 يوضح التآكل البكتيري اللاهوائي



شكل رقم 10-13 : التآكل البكتيري اللاهوائي.

8- التفلق التآكلي الإجهادي:

و يعتبر التفلق التآكلي الإجهادي نوعا شائعا من الانهيار التآكلي في مياه البحر عند تعرض المعدن لإجهاد الشد أثناء إستخدامه أو متخلفاً عن عمليات سابقة مثل اللحام و قد يكون الإجهاد إستاتيا أو ديناميا و لا تسبب إجهادات الضغط هذا النوع من التآكل بل تزيد من مقاومة المعدن له

و العناصر الثلاثة الرئيسية لنشأة التآكل الإجهادى هي المعدن و الوسط المحيط به و إجهاد الشد الفاعل أو المتخلف . وقد يكون سوء إختيار المعدن و سوء التصميم والمعالجة الحرارية و تجهيز

السطوح من العوامل التى تساهم في التفلق التآكلي الإجهادي ووجود أيون الكلوريد (وأحياناً القلوية تسبب ما يعرف بالتفلق القلوي) ضروري لحدوث التفلق إضافة بالطبع إلى عناصر إجهاد الشد لمشار إليها سابقاً .

و تتعرض جميع أنواع المعادن المستخدمة في ماء البحر و منشآت إعذاب المياه لهذا النوع من التآكل و منها الصلب العادي و الصلب السبائكي و الصلب الذي لا يصدأ بأنواعه ويساعد وجود غاز النوشادر على قيام التفلق في النحاس الأصفر و تتعرض أنابيب النحاس الأصفر الألومنيومي المستخدمة في الغلايات لهذا النوع من التآكل و تعتبر سبائك النحاس النيكلية من أكثر المعادن مقاومة له .

و يعزي هذا النوع من التآكل إلى تكون حفرة أو نقرة بالتآكل عند أحد العيوب السطحية على المعدن مثل شق شعري مثلا حيث تتكون خلية جلفانية يكون فيها قاع الشق هو الأنود و تحت التأثير المشترك لتفاعل الذوبان الأنوي المتسارع و تركيز إجهاد الشد عند طرف الشق الشعري فإنه سرعان ما ينتشر بالتشوه اللدن للمعدن و ينتج عن ذلك تعرية مساحات جديدة من السطح تعرضها للتآكل فيزيد معدل التآكل وتركيز الإجهادات وهكذا (و تزداد الإجهادات تركيزاً بطبيعة الحال كلما استدق طرف الشق الشعري) و تسهم الإجهادات في تمزيق الأكسيد الواقية التى قد تتكون في الشروخ في حالة المعادن السلبية.

9- كلال التآكل :

يحدث كلال التآكل عندما تتعرض المعادن للإجهادات المترددة أو الدورية في وسط التآكل و بالذات في أوساط المياه الملحة حيث يقل حد التحميل كثيراً وقد يصل إلى الصفر و يتأثر كلال التآكل بعوامل متعددة تتعلق بالبيئة (تركيز الكلوريد , الأس الهيدروجيني – درجة الحرارة) و على مدى الإجهاد و نوعه و تردده و قد ثبت أن مجرد تعرض المعدن لبخار ماء البحر أو تلوثه به أو غمرة لفترة زمنية قصيرة يقلل كثيراً من الزمن اللازم للأنهيار الكلالي.

10.1.3 العوامل التى تؤثر في معدلات التآكل في المياه الملحة

10.1.3.1 تأثير الأكسجين الذائب

من المعروف أن الأكسجين يؤدي إلى زيادة معدلات التآكل عموماً للصلب بأنواعه و سبائكة و كذلك النحاس و سبائكة حيث يساعد الغاز على إتمام تفاعل التآكل الكاثودى و معدلات تآكل الصلب العادي في ماء البحر العادى (المهوى) و ماء البحر المنزوع الهواء عند درجات الحرارة المختلفة و لذا تتخذ

إجراءات نزع الهواء في منشآت الإعذاب بالتقطير لضمان إبقاء تركيز الغاز في حدود من 5 – 10 أجزاء في المليون كذلك فإنة تتخذ ضمانات عدم تسرب الهواء إلى المعدات تحت الضغط المخلخل أو ضغط هذا التسرب إلى الحد الأدنى و في وحدات التبخير الومضي فإن احتمالات التسرب تكون عالية و يستدعي ذلك المراقبة الجيدة لكيمياء الأجاج و تحديد أماكن التسرب و قد يستدعي الأمر تقليل نسبة الأكسجين في الماء عند معدلات تقل عن جزء واد في المليون كما هو الحال في مياه الغلايات التى يلزم معالجتها كيميائياً بمركبات الهيدرازين و كبريتيد الصوديوم على سبيل المثال.

ولقد ثبت علمياً وجود علاقة بين معدلات التآكل (العام) الصلب العادى و كمية الأكسجين الذائب في ماء البحر و يمكن وضعها في المعادلة الآتية :

معدل التآكل (مم /السنة) =

حيث :

C :- تركيز الأكسجين بالجزء في المليون .

U :- سرعة سريان المائع (سم / ثانية) .

Sc :- عدد شميدت و هو يعتمد على لزوجة المائع و حرارته النوعية و موصليته الحرارية .

و قد أتضحت هذه المعادلة من مقارنة نتائج التآكل العملية بالمعدلات التى تم تقديرها طبقاً لهذه العلاقة .

و على الوجه العموم فإنه يلزم ضمان خفض نسبة الأكسجين الذائب تحت 20 جزء في البليون لتحاشي التآكل المتسارع لكل من الصلب بأنواعه (العادي , السبائكي , الذي لا يصدأ) و كذلك لسبائك النحاس ووجود نسبة في حدود 10 أجزاء في البليون قد يكون مفيد في حالات الصلب الذي لا يصدأ للمساعدة في تكون طبقة الأكسيد اللافعالة الواقية و قد ثبت عملياً أن معدل تآكل النحاس قد أزداد إلى ثلاثة أضعاف بزيادة تركيز الأكسجين من 20 إلى 100 جزء في البليون عند 105 درجة مئوية و يعتبر الأكسجين الذائب في الماء مفيداً في حالات بعض المعادن مثل الألومنيوم الذي

لا يتأثر بوجود غاز الأكسجين حتى 1000 جزء في البليون و كذلك التيتانيوم الذي لا يتأثر مقاومته للتآكل بوجود الأكسجين حتى بنسب عالية .

و قد أظهرت خبرات التشغيل في بعض وحدات الإعذاب بالمملكة العربية السعودية أن مشاكل التآكل تقل كثيراً بل تكاد تكون منعدمة مع المراقبة الجيدة لكيمياء الأجاج و مثال على ذلك الوحدة (جدة - 3) بمدينة جدة بالمملكة السعودية حيث تكون نسبة الأكسجين الذائب بعد مرحلة نزع الهواء في حدود 18 – 40 جزء في البليون و حيث تجري المعالجة بعد هذه المرحلة بكبريتيت الصوديوم لتصل إلى المدى 15 – 20 جزء في البليون مع مراقبة إحتمالات التسرب أما في الوحدات القديمة (الخبر , جدة – 1) فإنه بعد تشغيل إستمر حوالي عشر سنوات تفاقمت مشاكل التآكل بدرجة خطيرة لعدم إمكان التحكم في نسب الأكسجين الذائب (وصلت أحياناً إلى أكثر من جزء في البليون) و قد إستدعي ذلك إعادة تركيب أنابيب المكثفات و أجزاء أخرى .

10.1.3.2 تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون الذائب

يساعد وجود ثاني أكسيد الكربون في ماء البحر على ازدياد معدل التآكل الصلب في وحدات الإعذاب لذلك تتخذ إجراءات نزع الكربون و نزع الهواء و التنفيس بكفاية تضمن ألا يتجاوز الغاز الذائب 3 – 5 أجزاء في البليون و لقد أوضحت خبرات التشغيل في وحدات الإعذاب بجدة بالمملكة العربية السعودية ارتفاعا خطيراً في معدلات التآكل عندما تعدت نسبة ثاني أكسيد الكربون الذائب 12 جزاء في المليون.

10.1.3.3 تأثير الأس الهيدروجيني

تتزايد معدلات تآكل الصلب الكربوني و الصلب الذي لا يصدأ و النحاس و سبائكه كلما انخفضت قيمة الأس الهيدروجيني للأجاج و تقل كثيراً مقاومة سبائك الصلب و سبائك النحاس للتآكل الهيدروجيني 4.5 أما الألومنيوم و سبائكه فإن خطورة التآكل تتزايد كثيراً تحت الأس الهيدروجيني 4 .من ثم تجري المراقبة الجيدة لكيمياء الماء الملح الساري في أجزاء وحدة الإعذاب المختلفة و خصوصاً عقب المعالجة بالحمض و عقب نزع الكربون و الهواء و المعادلة بالصودا و عند عمليات تنظيف القشور بالحمض أو بماء البحر المحمض ..الخ , و يجب إلا يقل الأس الهيدروجيني عن 7 عقب التنظيف بالحمض و عقب عمليات نزع الهواء أما المخلوط الملح المدار فإن الأس الهيدروجيني له يكون في حدود 7.6 – 7.8 مع إبقاء حوالي 10 أجزاء في المليون قلوية مختلفة و ذلك ضمان لتقليل احتمالات التآكل في أنابيب المكثفات

و يوضح تـأثير الأس الهيدروجيني علـى معدلات التآكل للصلب الكربوني العـادي و لإحدى سبائك النحاس في الظروف الموضحة من سرعة التيار و درجة الحرارة ... الخ ومن الملاحظ أن معدلات التآكل في ماء البحر العادي (المحتوي على مكونات القشور) أقل من معدلة في ماء البحر المعالج بالحمض و المنزوع منه ثاني أكسيد الكربون أن زيادة سرعة سريان التيار يؤدي إلى زيادة معدلات التآكل عند نفس الأس الهيدروجيني .

10.1.3.4 تأثير درجة الحرارة

يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى زيادة معدلات التآكل عموماً وقد وجد أن معدل تآكل الصلب الكربوني العادي يزداد بنسبة 50 % في ماء البحر صيفاً (25 – 29) درجة مئوية عند فصل الشتاء (9 – 12)درجة مئوية بالرغم من إنخفاض نسبة الأكسجين الذائب في فصل الصيف و عند السرعة 1 متر / ثانية فإن معدلات التآكل تتضاعف خمس مرات برفع درجة حرارة ماء البحر من 60 إلى 120 درجة مئوية وذلك في وجود 10 أجزاء في البليون من غاز الأكسجين الذائب و ينطبق ذلك على السبائك الأخرى الحديدية و غير الحديدية و يوضح الشكل تأثير ارتفاع درجة حرارة معدلات تآكل عدد من سبائك النحاس

10.1.3.5 تأثير سرعة سريان تيار الماء

تأثير سرعة التآكل بسرعة سريان الماء وقد تؤدي زيادة السرعة إلى زيادة معدل التآكل و قد يبدأ ذلك التزايد بعد سرعة محددة تعرف بالسرعة الحرجة و تساعد السرعة في بعض الأحيان على تقليل معدلات التآكل و تتوقف علاقة السرعة بمعدلات التآكل على عدة عوامل منها :-

1) تأثير السرعة في زيادة معدلات إمداد السطح المعدني بالأكسجين اللازم للتفاعل الكاثودي فمن الملاحظ أن الصلب الكربوني العادي (النوع 1010) لا يتأثر بزيادة السرعة حتى 25 متر/ثانية في غياب الأكسجين الذائب في حين تتزايد عند التركيزات العالية للأكسجين و في ماء البحر العادي
2) تأثير السرعة في معدل توفير مثبط التآكل على سطح المعدن (و في حالة الأنظمة المغلقة) فمن المعروف أنه يمكن استخدام كميات أقل من نيتريت الصوديوم Nano2 مثبطا للتآكل في حالة ماء الصنبور كلما زادت سرعة دوران المياه على السطح المعدني .
3) تأثير السرعة على طبقة الأكسيد الواقية (أو غيرها) إذ قد يؤدي ازدياد السرعة إلى تمزق هذه الطبقة و تعرية سطح المعدن (سبائك النحاس عموماً) و قد تؤدي إلى تحسين خواص الصلب الذي لا يصدأ النوع 316 (الحديد مع : نيكل – كروم – موليبدنوم – كربون

واطئ) الذي تتزايد مقاومته للتآكل كثيراً عند سر عات أعلى من 1 متر / ثانية أما فلز التيتانيوم فإن الطبقة الواقية على سطحه شديد الصلابة و التماسك و لا تتأثر مقدرتها على الحماية من التآكل – مطلقا –بإزدياد سرعة التيار .

4) تأثير السرعة في إزالة الطبقات الملحية الراسبة و إزالة الإتساخ قد يؤدي إلى معدلات أقل للتآكل الحفري و التآكل النقري و ذلك في الصلب الذي لا يصدأ 316 و سبائك النيكل .

و على سبيل المثال فإن معدلات التآكل عند سرعة 37 م/ ثانية للصلب الذي لا يصدأ 316 هي 0.01 مم / سنة و للسبيكة 90 نحاس – 10 نيكل هي 0.6 مم / سنة أما الصلب الكربوني العادي فتصل إلى 3.5 مم / سنة و قد أظهرت خبرات التشغيل في وحدات الإعذاب أنه :

(أ) ينبغي إلا تقل سرعة سريان الماء في الأنابيب عموماً عن 1 متر / ثانية تفادياً لمشاكل الاتساخ .

(ب) يفضل أن يكون السر عات في حدود 1.2 – 3 متر / ثانية في أنابيب المكثفات و المبادلات الحرارية , و تكون السر عات المناسبة للمعادن المستخدمة كما يلي :-

1) النحاس الأصفر Cu Zu 30 1.2 متر / ثانية.
2) النحاس الأصفر الأميرالي Cu Zu 28Sn 1.5 متر / ثانية .
3) نحاس أصفر ألومنيوم Cu Zu 20 A1 2.5 متر / ثانية .
4) سبيكة النحاس النيكلي Cu Ni 10 Fe 3 متر / ثانية .
5) سبيكة النحاس النيكلي Cu Ni 30 Fe Mn 3.5 متر / ثانية .

(ج) تكون السر عات خلال المضخات و الصمامات (باستثناء الدفاعات المروحية) أقل من 20 متر / ثانية و يعتبر البرونز و حديد الزهر الأستينيتي ملائما لذلك .

(د) تكون السر عات على دفاعات المضخات في حدود 30 م / ثانية و يعتبر الصلب الذي لا يصدأ النوع 316 و سبائك النيكل – نحاس (المونيل) من أنسب المعادن لذلك .

(ه) إذا تجاوزت السرعة 40 متر / ثانية فإنه ينبغي استخدام فلز التيتانيوم أو سبائك النيكل – كروم – موليبدنوم .

10.1.3.6 تأثير الكلورة

يحقن ماء البحر المغذي لوحدات الإعذاب بغاز الكلوريد (و تسمي العملية الكلورة) و ذلك للقضاء على الكائنات البحرية التى تنمو في ظروف التشغيل (حرارة) مسببة عمليات الاتساخ و انسداد الأنابيب ...

الخ و تكون الكلورة إما مستمرة أو على فترات متقطعة (بمعدل أعلى في هذه الحالة و تعرف بـالكلورة الصدمية) و يؤدي الغز المتخلف في كلتا الحالتين إلى تصاعد في معدلات تآكل معدات الصلب و سبائك النحاس و الألومنيوم و يوضح الشكل تأثير تخلف 3 أجزاء من الكلور في المليون إثر المعالجة الصدمية على معدلات تآكل الصلب و سبيكة الأميرالى و ذلك خلال فترة الكلورة و ما بعدها بقليل .

وقد ثبت أن الغاز المتخلف حتى في حدود 0.3 جزاء في المليون يؤدي إلى تآكل أنابيب التنفيس (الصلب الذي لا يصدأ النوع 3.4 و النوع 316) و قد أثبتت الدراسات التى أجريت في محطات الإعذاب بجدة – حيث لوحظت هذه الظاهرة أن الكلور المتخلف بهذه النسب الضئيلة يؤدي في ظروف التشغيل عند الأس الهيدروجيني المنخفض إلى تصاعد غاز البروم الموجود في ماء البحر مسبباً ظاهرة التآكل البرومي و قد عولجت هذه المشكلة في محطات جدة بنجاح بمعاملة الأجاج بكبريتات الصوديوم Na2 So3 للتخلص من الكلور المتخلف .

10.1.3.7 تأثير غاز كبريتيد الهيدروجين و النوشادر

قد يؤدي التلوث بغاز كبريتيد الهيدروجين H2S إلى زيادة معدلات تآكل سبائك النحاس في الأجزاء غير المنفسة أو قبل التنفيس أما النوشادر فيؤدي إلى زيادة طفيفة في معدل تآكل الصلب و سبائك النحاس في الأماكن المنفسة و غيرها .

10.1.4 التآكل الجلفاني في وحدات الإعذاب

الخلايا الجلفانية بأنواعها المختلفة في وحدات إعذاب المياه و يرجع ذلك إلى استخدام أنواع متعددة من السبائك التى قد يكون سبق تعرضها لعمليات ميتالورجية مختلفة (من معالجة حرارية و تشغيل على البارد ينشأ عنه إجهادات مختلفة , وكذلك اللحامات , و الأحمال الناتجة عن التشغيل) و اتصال الأجزاء المعدنية المختلفة بعضها ببعض و بسبب تعرض هذه السبائك للوسط الملح المتغير الخواص (غا– تركيز ملحي – حرمان من الأكسجين – تسرب الهواء ...)

لذا فإنه يفضل أن يكون مهندس الإعذاب على إلمام كاف بمبادئ التآكل و احتمالات التآكل الجلفاني و التسلسل الجلفانى للسبائك و الفلزات المستخدمة في ظروف التشغيل السائدة في وحدة الإعذاب و علية أن يأخذ في حسبانه إمكانية احتمال نشوء خلايا جلفانية ذات فرق جهد عال و أن يراعي نسبة مساحة السطح الكاثودي إلى السطح الأنودي بحيث تكون أصغر ما يمكن عملياً و من المعروف أن فرقاً في الجهد الجلفانى في حدود 0.3 فولت مع مساحة كاثودية كبيرة و أنودية صغيرة يؤدي إلى معدلات عالية للتآكل و مثالا على ذلك فإن اتصال أنبوب رقيق من الصلب بلوح من النحاس أو سبائك النحاس يعطي

ازدواجا جلفانياً سيئا يؤدي إلى تآكل شديد للصلب و يجب أن يراعي قواعد الاتصال الجلفانى السليمة في الوصلات و الخزانات و صناديق المياه ... الخ

و يوضح الشكل جهود التآكل في ماء البحر عند سرعة تتراوح بين 4-2.5 متر / ثانية , 50 – 80 درجة مئوية لمعظم السبائك المستخدمة في منشآت إعذاب ماء البحر .

10.1.5 التآكل في المياه الساكنة

تعتبر مياه البحر الساكنة من أسواء الأوساط التى تؤدي إلى التآكل الشديد لسبائك النحاس و سبائك النيكل و أنواع الصلب غير القابل للصدأ و قد ظهرت صورة متعددة من التآكل في السبائك النحاس مثل تآكل النقر و تآكل الجلفانى و خلايا التركيز الأكسجيني و التآكل الانتقائي و التفلق التآكلي الإجهادي ...الخ و تظهر هذه الصور من التآكل بكثافة في مراحل الاستخدام الأولي للسبائك و على وجه الخصوص في مداخل محطات الإعذاب (السطوح الخارجية المعرضة للماء الساكن) كما تظهر بجدة في وحدات الإعذاب عند توقف التشغيل المتكرر لذا فإنه يراعي سرعة صرف الماء العذب من الوحدة (و بالذات غرف التبخير الومضي و غيرها) و يتبع ذلك الغسيل بالماء العذب الناتج ثم التجفف السريع و يجري التجفف عادة بالضغط الهواء الجاف أو النتروجين أما إذا كان التوقف لفترات طويلة فإن الغسيل يتم بماء خلو من الكلور و محتوي على مانعات التآكل .

10.1.6 التآكل بوساطة الماء العذب (المنتج)

يتمتع الماء العذب (المنتج) من وحدة الإعذاب بشراهة زائدة للتآكل و يكون لديه المقدرة على مهاجمة المواد الإنشائية المستخدمة في التخزين و التوزيع , إذ يذيب الجير الحر في الخرسانة مثلا و يساعد على سرعة انهيارها كما يذيب هذا الماء القشور الملحية المترسبة على مواسير الصلب و يؤدي إلى معدلات تآكل تتجاوز 25 % مم في السنة و قد تؤدي مقدرة الماء على إذابة الحديد إلى تلونه باللون الأحمر (الصدأ) و بالذات مع توافر غاز الأكسجين الذائب و ترجع شراهة الماء إلى خلوة تقريباً من الايونات الذائبة لذا فإن إضافة بعض الأملاح بكميات ضئيلة إلى الماء تكبح جماحه و تقلل من مقدرته على إذابة المعادن و المواد الإنشائية و تحدد نوعية هذه الأملاح و كمياتها طبقاً لظروف كل وحدة إعذاب و ظروف المنطقة المستهلكة للماء و من الإضافات المعروفة (بكميات ضئيلة مقدرة) كربونات الصوديوم و جير سليكيات الصوديوم و الفوسفات و كلوريد الكالسيوم ... الخ و تعتبر كربونات الكالسيوم من أقوي مانعات التآكل المستخدمة مع الماء المنتج و في هذه الحالة قد تجري المعالجة بخلط الماء بكميات مقدرة من الماء العسر و إذا لم يتيسر ذلك فإنه يجري تحضير كربونات الكالسيوم بتمرير غاز ثاني أكسيد الكربون على الجير الحي.

10.1.7مراقبة التآكل

تجري مراقبة التآكل في وحدات الإعذاب بقياس معدلاته (أو التنبؤ بها) في مختلف أجزاء الوحدة بطرق كيفية أو كمية ومن المعروف أن هناك طرقا متعددة لقياس معدل التآكل منها مستخدم في أغراض البحوث مثل الفقد الوزنى , التغير في الخواص الضوئية في الطبقة السطحية , أو اختزال طبقة الأكسيد المتكونة أو قياس تركيز الأيونات الفلزية الذائبة , و الطرق الكهروكيميائية , ... الخ و من هذه الطرق ما يصلح لقياس معدلات التآكل اللحظي (التقريبي) أثناء التشغيل و قد يستخدم قياس الفقد الوزنى في المعادن المتآكلة لحساب معدلات التآكل في وحدات الإعذاب التجريبية , لجميع المعلومات عن مقاومة المعاد للتآكل في ظروف التشغيل ووضع أسس اختيارها و تجري هذه الطريقة بوضع العينات الإختبارية في جيوب اختبار في مواضع مختارة من دائرة الإعذاب و قياس النقص الوزنى على فترات محددة م تستغرق هذه الطريقة فترات طويلة , و تعطي معلومات دقيقة نسباً أما الطرق المستخدمة عملياً لقياس معدل التآكل اللحظي في محطات إعذاب المياه فمنها :

أولا :- قياس تركيز أيونات المعادن في الأجاج في مواضع مختلفة من دائرة الإعذاب عند لضرورة و قياس تركيزات المعادن في الأجاج المطرود بصفة دورية و كذلك الماء المنتج إذ تعطي هذه التركيزات دلالات على معدلات التآكل و من المتوقع طبعا أن تتغير هذه المعدلات طبقاً لتغيير درجات الحرارة و عامل التركيز , و تسرب الأكسجين ... الخ و يتوقع أن تكون المعدلات عالية نسبياً في مراحل حقن الحرارة و أنابيب المبادلات الحرارية و صناديق المياه .. الخ و قد وجد من خبرات التشغيل , أنه يمكن التنبؤ بمعدلات تآكل سبائك النحاس و حسابها بمعرفة تركيز أيوناته في الأجاج , و قد استنبطت معدلات حسابية تحكم العلاقة بين التركيز و معدل التآكل أما في حالة الحديد فتشير دراسات متعددة إلى أن تركيز أيوناتة في الأجاج يعطي دلاله عامة على التآكل و لكنة لا ينبيء عن معدل هذا التآكل و ذلك لتراقم جزاء كبير من نواتج تآكل الحديد على هيئة طبقة غير واقية من الأكسيد و الهيدروكسيدات (أو الأكاسيد المائية) تتراكم على سطح المعدن , مثلا يحدث في غرف التبخير .

و إذا أخذنا تركيز أيونات النحاس في الأجاج المطلوب و كمؤشر لمعدلات التآكل فإنه ينبغي أن يكون في حدود 7 – 10 أجزاء في المليون (عندما يكون تركيز الأكسجين 20 – 30 جزء في البليون) إذا كانت معدلات التآكل في الحدود المقبولة أما إذا تجاوز ذلك بكثير فإن ذلك يعد دلاله على ارتفاع معدل الزوبان و قد سجلت حالات وصل فيها هذا التركيز إلى ما يناهز 300 جزء في

المليون (محطة جدة – 1 بعد حوالى عشر سنوات من التشغيل) , وقد تم حينذاك تغيير أنابيب المكثفات و المبادلات الحرارية و صناديق المياه ... الخ

ثانيا :- الطرق الكهروكيميائية لقياس معدلات التآكل اللحظية في المعدات و الأجهزة و هي متعددة و منها تكنيك مقاومة الاستقطاب و تقوم على أسس وضع مسابر مراقبة التآكل على شكل إلكترودات من نفس المعدن المراد مراقبة معدل تآكله معرضة للتآكل الحر , ثم قياس التيار الكهربائي اللازم تسليطه على هذه الإلكترودات , حتى يتغير جهد الإلكترود بمقدار 10 – 20 ملي فولت و يمكن من خلال تصميم الدائرة الإلكترونية لمسبر القياس ترجمة قيمة التيار إلى معدل التآكل اللحظي للمعدن و قياسه و تسجيله مباشرة و عادة ما توزع مسابر مراقبة التآكل في المناطق المعرضة للبخار .

و تجدر الإشارة إلى أن طرق القياس الكهروكيميائية تساعد على معرفة معدلات التآكل من النوع المنتظم أو العام فقط و تعطي بعض الدلالة على تآكل النقر و لكنها لا تمكن من الاستدلال على معدلات الأنواع الأخرى من التآكل المتوقع حدوثها في دائرة الإعذاب مثل التفلق التآكلي الإجهادى, التآكل الحفري , و بين الحبيبي , الإنضاب الزنكي و التحات , ...الخ .

10.1.8 التحكم في التآكل

تتخذ الإجراءات اللازمة في وحدات الإعذاب بهدف التقليل من أخطار التآكل إلى أدنى حد ممكن في ظروف التشغيل , و حالات التوقف المتكرر و الدائم و على العموم فإنه تتبع الطرق التقليدية المعرفة لتحاشي التآكل أو التقليل قدر الإمكان من أضراره , و قبل مناقشة التطبيق العملي هذه الوسائل في وحدات إعذاب الماء الملح , فإنه ينبغي تحديد العوامل و الظروف التى تؤدي إلى نشوء مشكلة التآكل أو إلى تعاظم أخطارها و من هذه العوامل و التغيرات ما يلي :-

- تغير ملوحة ماء البحر .

- ارتفاع عامل التركيز في الأجاج المدار .

- ارتفاع درجات الحرارة في مناطق الحقن الحراري .

- تراكم الغازات الأكالة غير المتكثفة مثل غاز ثاني أكسيد الكربون , لعدم كفاية نظام نزع الكربون و نزع الهواء و التنفس لا ينبغي أن يتعدي ثاني أكسيد الكربون 3 – 6 أجزاء في المليون .

- ارتفاع نسبة الأكسجين الذائب لنقص كفاية نظام نزع الهواء و احتمالات تسرب الهواء للداخل لا ينبغي أن يتعدى الأكسجين 10 – 20 جزاء في المليون .

- ارتفاع نسبة تلوث ماء البحر بكبريتيد الهيدروجين , النوشادر , و نواتج الاضمحلال العضوي .

- وجود كميات كبيرة من الكلور المتخلف و احتمالات قيام مشاكل التآكل البرومي في نظام التنفس تبعاً لذلك .

- اتباع نظام التحكم في القشور التى تؤدي إلى تفاقم مشاكل التآكل (المعالجة بالحمض ة انخفاض الأس الهيدروجيني تبعاً لذلك) .

- زيادة كميات المواد الصلبة المعلقة في ماء البحر .

- عدم ملائمة المعادن و السبائك المستخدمة في بعض المعدات .

- تأثير الإزدواجات الجلفانية بين المعادن , و نسبة مساحة السطوح الكاثودية إلى الأنودية .

- عدم كفاية مثبطات التآكل المضافة .

- تكرير توقف التشغيل , و الاضطرابات الناشئة عن ذلك .

- القراءات غير الدقيقة لأجهزة القياس نتيجة عدم المعايرة الدورية لها , أو وضع هذه - الأجهزة في غير الأماكن الملائمة و بعد ذلك على سبيل المثال قراءات درجات الحرارة و الأس الهيدروجيني و معدلات السريان , وأجهزة مراقبة التآكل , ... الخ

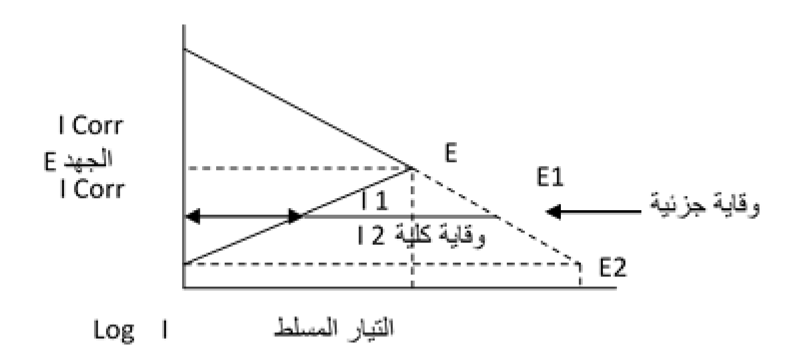
10.1.9طرق الوقاية من التآكل

10.1.9.1 الوقاية الكاثودية

تعتبر الوقاية الكاثودية (Cathodic Protection) من أهم طرق الوقاية من التآكل وأكثرها استخداما . وتعتمد علي جعل المادة المراد حمايتها من التآكل كاثودا في خلية كهربية (وذلك بتسليط تيار كهربائي مباشر عليها) أو خلية جلفانية بتوصيلها بإلكترود من مادة نشيطة تقوم بدور الأنود .

وفي كلتا الحالتين فإن تيار التآكل الذي يسري في الجزء المراد حمايته ، ينعدم تقريبا ، وتكون المادة في حالة حصانة دينامية حرارية من التآكل .

وتعرف الطريقة الأولي بتكنيك التيار المسلط (Impressed Current Technique) وتعتمد علي تمرير تيار كاثودي معاكس لتيار التآكل . ويوضح الشكل رقم 10-14 الأساس النظري للوقاية الكاثودية ، حيث يمثل io تيار التآكل لمعدن ما ، والذي يتناقص تدريجيا مع تسليط تيار كاثودي علي هذا المعدن ، فعند تسليط جهد كهربائي كاثودي مباشر E1 (أي تيار i1) يتناقص تيار التآكل كما هو موضح ، وتكو الوقاية من التآكل هنا جزئية ، أما عند زيادة الجهد المسلط إلي E2 (أي تيار كاثودي مسلط i2) فإن تيار التآكل يتلاشي تماما ، وتصبح الوقاية كلية . وقد أظهرت الممارسات أنه ينبغي تسليط جهد كاثودي أكثر قليلا من E2 لضمان تنشيط التآكل تماما . ولكن ينبغي ألا يزيد كثيرا عن ذلك لتفادي مشاكل الضرر الناشئ عن تصاعد غاز الهيدروجين النشيط (Damage Hydrogen) ، حيث يؤدي في أحيان كثيرة إلي نوع آخر من التآكل ، إلي جانب تقصف المعدن طبقاً لشكل رقم 10-14.



شكل رقم 10-14 : الوقاية الكاثودية.

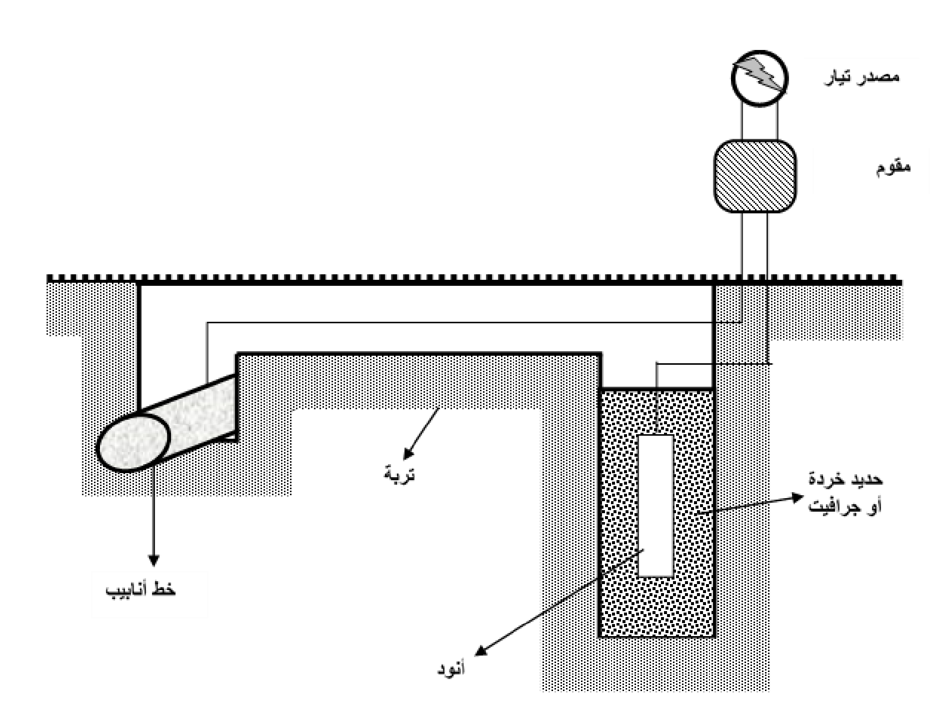
ويوضح الشكل رقم 10-15 تطبيقا عمليا لطريقة التيار لمسلط لحماية الأنابيب المدفونة تحت الأرض ، حيث يوصل الطرف السالب من مصدر التيار المستمر إلي الأنابيب المراد حمايتها والطرف الموجب إلي الإلكترود المساعد الذي قد يكون من الجرافيت أو الصلب ، ويكون مدفونا علي مسافة مناسبة من الإنشاءات المطلوب حمايتها .

وتطبق هذه الطريقة لحماية الكثير من الإنشاءات والمعدات ، ومنها الأنابيب المدفونة ، المكثفات ، خزانات المياه ، والمعدات الكيمائية ، ومعدات إعذاب البحر .

وتعرف وسيلة الحماية الكاثودية ضد التآكل الثانية بتكنيك الأنود الأضحية (الذواب) (Sacrificial anode technique) وفيها يوصل الجزء المطلوب حمايته من التآكل بإلكترود مساعد (auxiliary electrode) من مادة أكثر منه أنودية في السلسلة الجلفانية (الجدول الجلفاني) ، حيث

تتكون خلية جلفانية ويكون الجزء المطلوب حمايته هو الكاثود ، ويصبح في حالة مناعة من التآكل و يعرف الإلكترود المساعد حينئذ بالأنود الأضحية . وأكثر المعادن شيوعا في الإستخدام كأنود أضحية هو الماغنسيوم وسبائكه ، وإلي حد أقل الزنك والألمونيوم . وعلي سبيل المثال فإن توصيل الزنك بالحديد يؤدي إلي تكون خلية جلفانية ، يصل جهد دائرتها المفتوحة إلي 1.2 فولت (يصل إلي 1.3 فولت في ماء البحر) .ويوضح الشكل رقم 10-16 رسما تخطيطيا لاستخدام أنود الماغنسيوم الأضحية لحماية الأنابيب المدفونة في الأرض .

وتستخدم هذه الوسيلة استخدامات واسعة ، منها حماية غلايات البخار وسخانات المياه والمكثفات ، وأبراج نزع الكربون ، والسفن والإنشاءات البحرية ، وفي منشآت إعذاب المياهـ الملحة والصناعات الكيميائية .

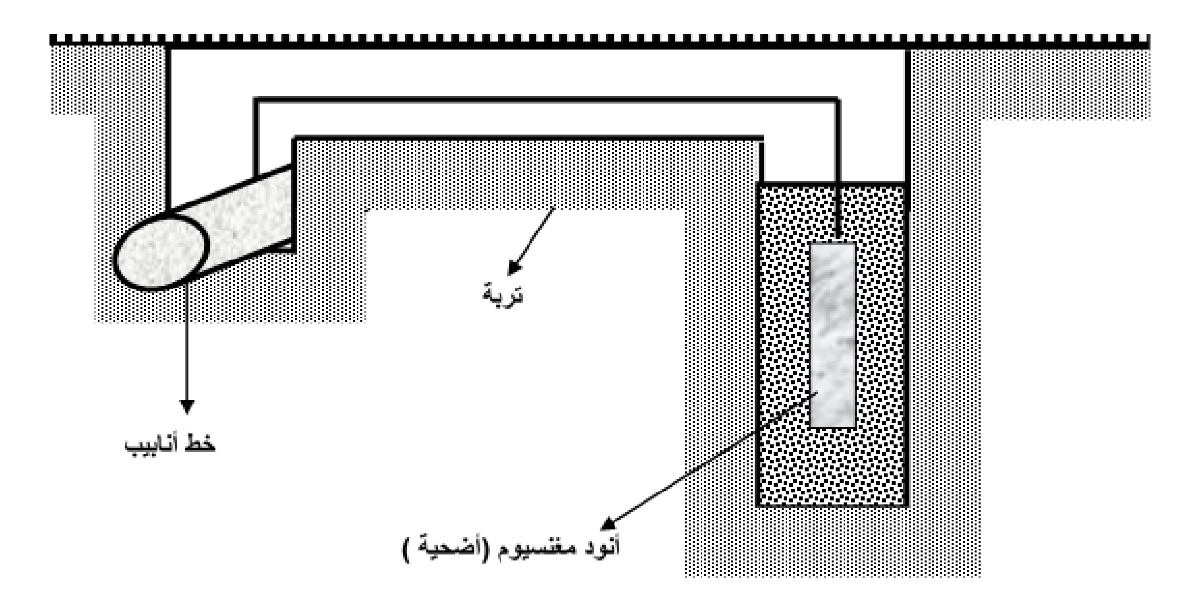


شكل رقم 10-15 : الحماية الكاثودية لخط أنابيب بالتيار المسلط.

10.1.9.2 الوقاية الأنودية

تعتمد الوقاية الأنودية (anodic protection) علي تعويض المعدن أو السبيكة لتيار أنودي يؤدي إلي تكوين طبقة من الأكاسيد السلبية الواقية علي سطحه تقلل من معدل التآكل ، وهي غير شائعة الاستعمال كثيرا إلا في بعض الصناعات الكيميائية ، حيث تطبق علي بعض الفلزات التي تتمتع بخاصة تكون الأكاسيد السلبية (passive oxide films) ، مثل فلز التانتاليوم في صناعات حمض الهيدروكلوريك .

ومن عيوب هذه الطريقة إمكان حدوث تأكل نتيجة انهيار الطبقة السلبية ، كما ان بعض الأيونات مثل أيون الكلوريد يؤثر في كفاية هذه الطبقة ويؤدي إلي إفسادها أحيانا .



شكل رقم 10-16 : الحماية الكاثودية لخط أنابيب بإستخدام الأنود الأضحية.

جدول رقم 10-4 : أمثلة لمثبطات التآكل المستخدمة في نظم مختلفة.

النظام	وسط التآكل	مانع التآكل	التركيز
نظم البلدية	الماء	الجير متعدد الفوسفات	حتي p H = 8 5 – 10 أجزاء في المليون
نظم التبريد(مرة واحدة) once through	الماء	الجير متعدد الفوسفات السليكات	حتي p H = 8 10 أجزاء في المليون 10 – 20 جزءا في المليون
نظم التبريد(معاد الدوران) circulating	الماء الجليكول/الماء ماء البحر	الكرومات النيتريت بورات الصوديوم بورات الصوديوم + ميركابتو بنزوتيازول فوسفات الصوديوم + نتريت الصوديوم	0.1 – 1% 0.1 – 1% 1% 1% + 0.1% متغير
التسخين والغسيل	الماء الساخن	الفوسفات السليكات	10 أجزاء في المليون 10 – 20 جزء في المليون
خطوط الأنابيب	الجازولين	نيتريت الصوديوم مانعات عضوية	نسبة صغيرة 0.05 %
تنكات التخزين storage tanks	البترول	نيتريت الصوديوم مانعات عضوية	نسبة صغيرة 0.05 %
التخليل pickling	الأحماض	مانعات عضوية	0.1 – 1 %

10.1.9.3 مثبطات التآكل

مثبطات التآكل (corrosion inhibitors) هي إضافات كيميائية عضوية أو غير عضوية تضاف بنسب ضئيلة جدا قد تصل إلي أجزاء في المليون إلي وسط التفاعل (وبعضها إضافات غازية تستخدم في أحوال التآكل الغازي والبخاري) حيث تؤدي إلي إعاقة التفاعلات الأنودية أو تثبيطها أو إيقافها (وتعرف بالمثبطات الأنودية) أو إعاقة التفاعلات الكاثودية (المثبطات الكاثودية) أو إعاقة التفاعلين معا.

ومن أمثلة هذه المثبطات مركبات الفوسفات والكبريتات والكرومات والسليكات والبنزوات والنتريت والبورات . . . الخ . و يبين الجدول رقم 10-4 أمثلة لبعض المثبطات المستخدمة عمليا .

10.1.9.4 الطلاء المعدني

وتستخدم وسيلة الطلاء المعدني (metal coating) اساسا لتغطية سطوح الصلب ، وفي بعض الأحيان لتغطية المعادن غير الحديدية ، وتستخدم في الطلاء فلزات خاملة (أو سبائك) مثل الكروم والنيكل والرصاص والذهب والتيتانيوم والبلاتين والصلب اللاصدئ . . إلخ ، وقد تستخدم فلزات نشيطة مثل الزنك والكادميوم ، والألمونيوم . . . إلخ ، وهناك طرق متعددة للتغليف أو الطلاء منها علي سبيل المثال التشكيل الساخن (hot forming) الغمر الساخن (hot dipping) التصفيح الكهربائي (electroplating) السمنتة (cementation) التغليف (cladding) الرش المدفعي (gun spraying) والترسيب البخاري (vapor deposition) وتقنيات أخري غير ذلك .

ومن أكثر طرق الطلاء المعدني شيوعا الطلاء بالزنك ، أو الألمونيوم أو القصدير ،حيث يستخدم الأول فيما يعرف بجلفنة الصلب (steel galvanizing) . والصلب المجلفن (steel galvanized) هو صلب طري مغطي بطبقة من الزنك ، وذلك بطريقة الغمر الساخن في أغلب الأحوال ، أو بالطرق الكهروكيميائية ، ويستخدم الطلاء الألومنيومي مع الصلب في حالة تعرضه لوسط من مياه البحر . ويستخدم القصدير في تغطية رقائق الصلب (وأحيانا رقائق النحاس) لإنتاج الصفيح أي الصلب المقصدر (tin plate of steel) ، وفيه تكسب طبقة القصدير الصلب مقاومة فائقة للأكسدة الجوية وللتآكل في الأوساط المائية المستخدمة في معلبات الأغذية والمشروبات المحفوظة (tin cans) . والطريقة الشائعة للطلاء هي الغمر الساخن وذلك بعد إعداد سطح رقائق الصلب وتنظيفه جيدا (والتنظيف بالحمض – الدلفنة – علي البارد – الغسل – التخمير . .. إلخ) ثم يغطي بطبقة من القصدير بسمك قد يصل إلي 25 ميكرونا . كما تستخدم طرق الترسيب الكهروكيميائي كذلك في أحوال متعددة .

10.1.9.5 الطلاء الكيميائي

هنـاك أنـواع متعددة مـن الطـلاء الكيميـائي (chemical coating)فمنـه علـي سبيل المثـال الطـلاء العضوي مثل المطاط أو البلاستيك بأنواعها المتعددة من تيفلون ، أبوكسي ، نيوبرين . . . الخ ، كما أن الطلاء قد يتم بالأسمنت ، والمينـاء والزجـاج وغير ذلك من المواد الكيميائيـة غير العضوية . وهنـاك طرق للطلاء بالتحويل الكيميائي (chemical conversion coatings) أي تحسين مقاومة سطح الفلزات للتآكل بمعالجـة الطبقـة السطحية كيميائيـا ، بهدف جعلهـا مماثلـة فـي مقاومتهـا للتآكل للمعـادن الخاملة . ومن هذه الطرق ، المعالجة بالكرومات (chromate treatment) وتطبق علي كثير من الفلزات (مثـل الألومنيوم والزنـك والكـادميوم والمغنيسيوم والنحـاس) بمعالجتهـا بمحاليل الكرومـات بطرق تؤدي إلى تحويل السطح إلي طبقة واقيـة مكونـة من خليط من أكاسيد الكروم و أكاسيد المعدن المغطى .

وتستخدم المعالجة الفوسفاتية (phosphat treatment) في طلاء ألـواح الصـلب , وذلـك بمعالجتهـا بحمض الفوسفوريك أو محاليل تحتوى علـى فوسفات الزنـك والمغنسيوم تـؤدى إلـى إزالـة صدأ الحديد وتكون طبقة عازلـة من مركبـات الفوسفات . وتعتبـر الأنـودة (والمعالجـة الأنوديـةanodizing) من طرق الطلاء الكهروكيميائى , وفيها تتكون طبقة من الأكاسيد العازلة على سطح المعدن عند جعله أنودا في خلية كهربائية . ومن الفلزات الشائع معالجتها بهذه الطريقة الألومنيوم , والتيتانيوم , والتانتالوم .

10.1.9.6 البويات

يعتبر استخدام البويات (paints) من الطرق السهلة والشـائعة لحمايـة المعـادن من التآكل , وذلك إذا سمحت ظروف التشـغيل المعرضـة لهـا من درجـات الحـرارة والضـغط ووسـائل التآكل ... الـخ . ومن البديهي أنـه مـا دام طـلاء البويـة بعزل المعدن عن الوسط المحيط بـه , فإنـه كلمـا زادت مقاومـة البويـة لنفاذية الأكسجين والمـاء , زادت كفايتهـا الوقائيـة , وتسـاعد الصـبغات (pigments) والمـواد المالئـة (fillers) المضـافة إلـي البويـات علـي إعاقـة نفاذيـة الأكسـجين والمـاء . كمـا يضـاف إلـي البويـات عـادة بعض المركبات المثبطة للتآكل .

وينبغـي تجهيـز سـطوح المعـادن جيـدا قبـل معالجتهـا بالبويـات وذلـك بإزالـة القشـور(descaling) والتخلص من الدهون (degreasing) والتجفيف بأستخدام الوسـائل الميكانيكيـة والمذيبات العضـوية والأحماض والقلويات . . . الخ . حسب نوع المعدن المعالج ، والبوية المستخدمة .

10.2 القشور

10.2.1 تعريف القشور

القشور هي رواسب معدنية تتكون علي الأسطح الصلبة في المعدات الصناعية ، وتعتبر القشور ذات أهمية خاصة في تنقية المياه المالحة حيث تظهر في معظم العمليات المستخدمة حاليا في الصناعة . ففي عمليات التقطير يمكن أن تكون القشور علي أسطح أنبوب المبخر ، أما في طرق الأغشية فتتكون القشور علي أسطح الأغشية التي تعمل كمناخل أيونية . ويؤدي وجود القشور إلي صعوبات في التشغيل ونقص في الكفاءة . ففي التقطير ، مثلا ، تقلل القشور معدل إنتقال الحرارة خلال الأسطح الموجودة عليها . أما في الديلزة الكهربائية والتناضح العكسي ، فإنها – أي القشور – تسد الأغشية وتزيد المقاومة الكهربائية أو الهيدرولية ، وإستهلاك الطاقة . ولهذا يعتبر منع ترسب القشور جزءا متكاملا مع تصميم وتشغيل وتكاليف هذه العمليات . وغالبا ما تثبت ضرورة المعالجة المسبقة للمياه الملحة قبل عملية إزالة الأملاح ، حيث تساعد المعالجة المسبقة علي إزالة أو التقليل من تركيز الأيونات التي يمكن أن تدخل في مكونات القشرة .

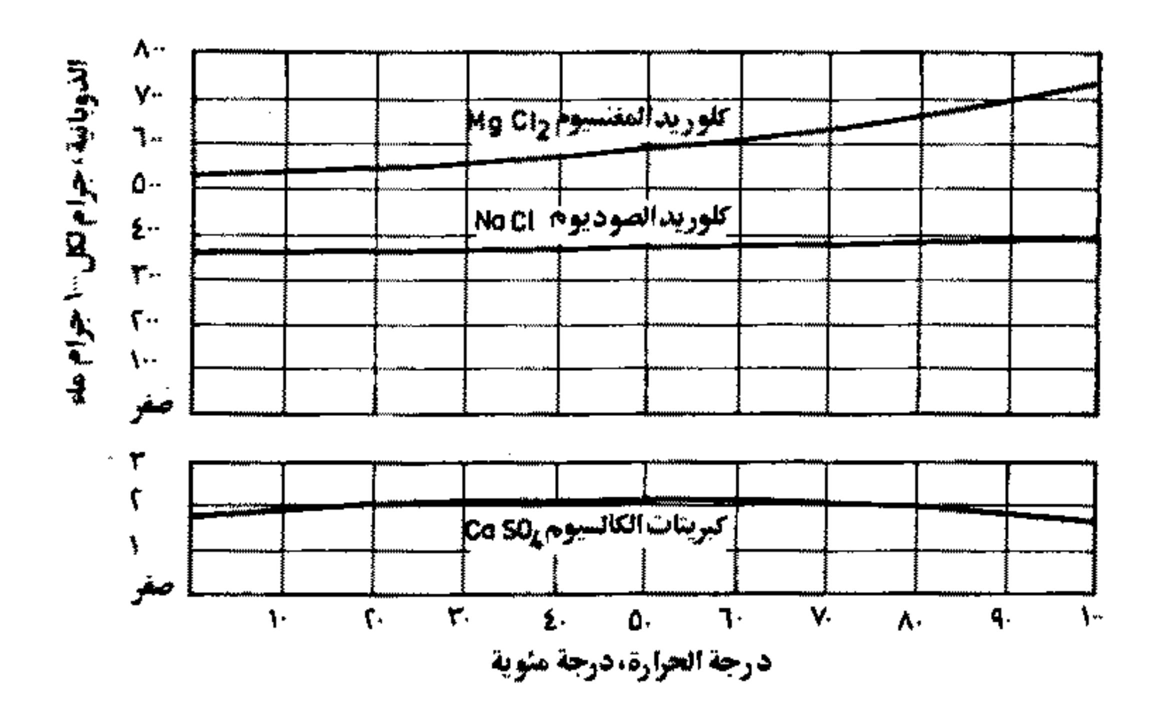
وتستخلص القشور مكوناتها من المياه الخام ، ما لم يكن هناك تآكل مصاحب لترسيب القشور ، وفي هذه الحالة ، تصبح نواتج التآكل (مثل أكسيد الحديد) جزءا من القشور المترسبة . ويعتمد تركيب القشور علي مكونات المياه الخام وظروف التشغيل ولقد كشفت الإختبارات الكيمائية والمعدنية للقشور المترسبة في محطات معالجة المياه وفي الغلايات عن عدد كبير من المركبات في القشور المختلفة . وعادة ما تحتوي القشور في محطات تنقية المياه علي المركبات الكيمائية التالية : أكسيد الماغنسيوم وكربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم ولقد وجدت هذه المركبات في أشكال صلبة مختلفة إما خالصة أو علي هيئة خليط . وتتكون القشور عندما تتعدي ذوبانية هذه المركبات حد السماح . وتتسبب أملاح الكالسيوم والماغنسيوم في عسر الماء .

10.2.2 حد الذوبانية

تختلف ذوبانية الأملاح المختلفة في مياه البحر والمياه المالحة إختلافا كبيراً ويبين الشكل رقم 10-17 ذوبانية ثلاثة من الأملاح الموجودة بكثرة في هذه المياه كدالة رياضية لدرجة الحرارة . ولقد تم الحصول علي هذه البيانات بإذابة آلف جرام من المياه العذبة مع كميات من هذه الأملاح لتحديد أكبر كمية من الأملاح يمكنها الذوبان في المياه عند درجات حرارة معينة.

ومن الواضح أن كلوريد الماغنسيوم و كلوريد الصوديوم (الملح المألوف) يذوبان بدرجة عالية في الماء .ويمكن تركيز مياه البحر الطبيعية إلى حوالي عشر حجمها قبل أن يصل تركيز كلوريد الصوديوم إلى

درجة التشبع . ولا يتم تركيز المياه الخام عادة إلى هذه الدرجة ما لم يكن هناك رغبة في إستخلاص الملح أو كلوريد الماغنسيوم . ولهذا ، فإن الأملاح ذات الذوبانية العالية لا تدخل عادة ضمن مكونات القشور التي تتكون في محطات تنقية المياه . وتزيد ذوبانية كل من كلوريد الماغنسيوم والملح العادي . مع زيادة درجة الحرارة . ويطلق علي هذا الذوبان ، الذوبان الطبيعي علي الرغم أن حدوث العكس معتاد نسبيا . وعليه . فإن ذوبانية كبريتات الكالسيوم المبينة أيضا في شكل رقم 10-17 تقل بزيادة درجة الحرارة بعد 38 درجة مئوية (ذوبانية مقلوبة لهذا المدى من درجة الحرارة) وتزيد ذوبانية كلوريد الصوديوم بنسبة قليلة (كنسبة مئوية) مع زيادة درجة الحرارة .



شكل رقم 10-17 : ذوبانية كلوريد الماغنسيوم وكالوريد الصوديوم وكبريتات الكالسيوم في الماء.

ويشير كل من منحنيات الذوبانية فيشكل رقم 10-17 إلى محلول من نوع واحد من الملح في الماء مع أن معظم المياه الطبيعية تحتوي علي أنواع كثيرة من الأملاح المختلفة . ويؤثر وجود بعض الأملاح الأخرى غالبا علي ذوبانية كل ملح . فمثلا ، تزداد ذوبانية كبريتات الكالسيوم وكربونات الكالسيوم وتقل ذوبانية كلوريد الماغنسيوم في محلول مركز من كلوريد الصوديوم بالمقارنة بالذوبانية في المياه العذبة . ويزيد وجود كلوريد الماغنسيوم ذوبانية كبريتات الكالسيوم بدرجة كبيرة . لذا ، يلزم عند تعيين حد الذوبانية أن يؤخذ في الحسبان وجود الأملاح المذابة الأخرى . وعندما تفصل المياه العذبة من المياه المالحة فأنه من الطبيعي أن يزيد تركيز الأملاح مما يجعل واحد أو أكثر من الأملاح يصل إلى حد

التشبع . وعلي ذلك ، فإن تسخين المياه المشبعة بملح ذي منحني ذوبانية مقلوب ، مثل كبريتات الكالسيوم ، يجعل التركيز يتعدي حد السماح للذوبانية حتى بدون غلي الماء – لأن ذوبانية مثل هذه الأملاح عند درجات الحرارة العالية أقل منها عند درجة حرارة الجو . وفي كلتا الحالتين فإنه يتم الحصول علي محاليل فوق مشبعة ، أي محاليل تحتوي علي أملاح بكميات أكثر من حد الذوبانية . وبالرغم من عدم إستقرار المحاليل فوق المشبعة فإنه ليس من الضروري أن تترسب الأملاح الصلبة في الحال من هذه المحاليل . ولكن ، عندما تلامس هذه المحاليل بلورة من مادة صلبة معينة ، فإن كل المواد الصلبة المذابة فوق حد التشبع تترسب في الحال . وقد وجد أن كل من بلورات الملح في المحلول فوق المشبع وبلورات العديد من المواد الصلبة يمكن أن تكون مركزا للتبلور ولقد فسر تكون القشور منذ سنوات في عمليات التقطير علي أساس منحني الذوبانية المطلوب لكثير من المعادن الداخلة في تكوين القشور . ولقد وضحت الأسباب علي أساس أن ذوبانية مكونات القشور عند سطح أنابيب التسخين تقل عنها في معظم المحلول ، مما يعجل بالوصول إلى حالة فوق التشبع عند السطح ، وبالتالي يحدث الترسيب في الحال علي السطح الصلب ومن المعروف الآن أن التشبع فوق العادي هو واحد فقط من مستلزمات ترسيب القشور وتوجد مراكز التبلور ما لم يكن المحلول في حالة فوق التشبع بدرجة كبيرة فإذا وجدت مراكز التبلور هذه علي سطح التسخين ، فإن القشور سوف تترسب علي هذا السطح أما إذا وجدت مراكز التبلور في منطقة أخرى فان ترسيب المواد الصلبة من المحلول فوق المشبع سوف يحدث في تلك المنطقة . وللتخلص من مشكلة القشور لنوع معين من الماء الخام ، فإنه يجب أن نسأل أولا تحت أي ظروف لدرجة الحرارة والتركيز تصبح المياه الخام غير مستقرة ، أي تصبح الظروف مواتية ومشجعة لتكوين القشور . وفي المعتاد يمكن منع تكون القشور بالآتي :

(1) تصميم العملية بحيث لا يمكن أن تتوفر الظروف التي تساعد علي تكوين القشور في أي مكان في وحدة إزالة الملوحة.

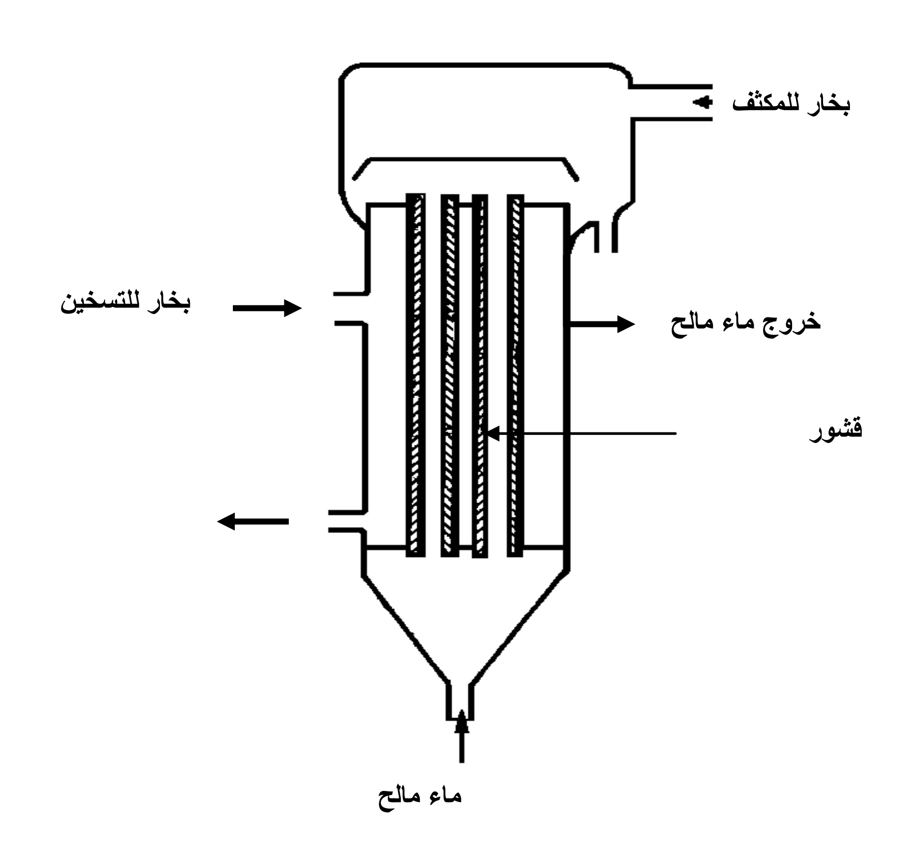
(2) بالتحكم في درجة فوق التشبع مع مراعاة أن يتم ترسيب المواد الصلبة فقط بعد أن تترك المياه الجهاز.

ولحل مشاكل القشور ، يجب أن تؤخذ كل مشكلة بمفردها ، أي كعلاقة القشور بالآتي :

(1) مكونات المياه الخام.

(2) عملية إزالة الملوحة المقترحة.

ولقد حدد و . ف لنجلير ومعاونوه Coworkers And Langelier بجامعة كاليفورنيا في بركلي ، البيانات الأساسية لحدود السماح للمحاليل التي تحتوي علي أملاح لتكوين القشور وسنناقش هذه الأعمال بإيجاز في فقرات قادمة.



شكل رقم 10-18 : التمثيل التخطيطي لتكون القشور في وحدة التقطير.

تكون القشور في مقطر . يسخن بخار الماء المغلي الماء الملح الساري إلى اعلي الأنابيب فيغلي الماء الملح ويتصاعد البخار متجها إلى المكثف . وتتكون القشور علي الأسطح الداخلية وتتكون القشور علي الأسطح الداخلية للأنابيب مما يقلل قطر الأنابيب وبالتالي تقل الحرارة المنقولة خلال جدران الأنابيب ويمكن أيضا عكس إتجاه سريان الماء الملح .

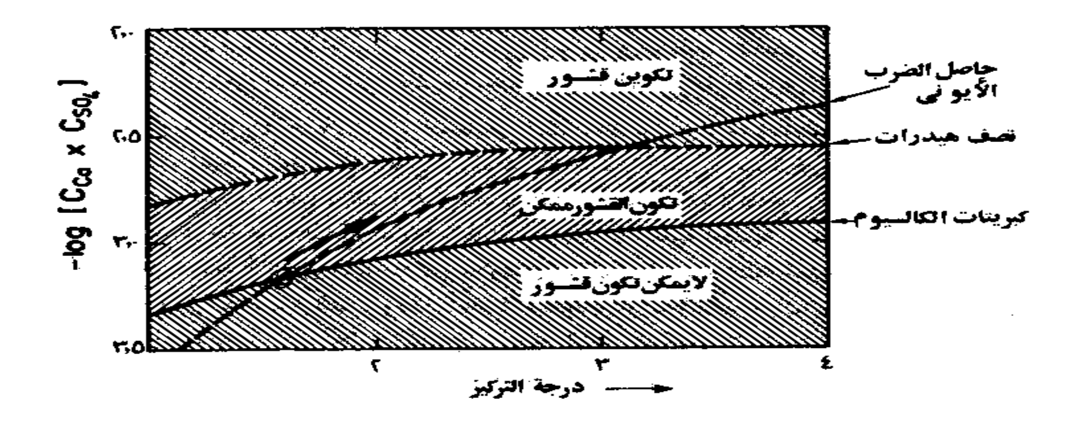
وبالرغم من إهتمام هذه الأبحاث أساساً بتكوين القشور في محطات التقطير ، إلا أن هذه الأبحاث تحتوي علي كثير من النتائج التي يمكن تعميمها علي طرق المعالجة الأخرى .

ويبين شكل رقم 10-18 التمثيل التخطيطي لتكون القشور في وحدة التقطير . ويسري الماء الخام خلال أنابيب تسخن ببخار الماء المغلي . ويمكن أن تتكون القشور حينئذ داخل الأنابيب . أما إذا كان التسخين بلهب مباشر ، فإن إحتمال تكون القشور يزيد نتيجة إرتفاع درجة حرارة الأنابيب ، وبالتالي تزيد درجة

فوق التشبع للأملاح ذات منحنيات الذوبانية المقلوبة ، مما يعجل بترسيب هذه الأملاح علي سطح الأنابيب الساخنة . وعلاوة علي ذلك ، فإن درجات الحرارة العالية تجعل القشرة صلبة جدا ومن الصعب إزالتها ، وهذا لا يحدث في غلاية توليد البخار حيث يستخدم ماء غير عسر لا يحتوي علي الأملاح التي تكون القشور . ويعود البخار المتكثف إلى الغلاية حيث يستخدم مرة ثانية لتوليد البخار لتجنب دخول أية مواد مكونة للقشور إلي الغلاية . أما الكمية الصغيرة من المياه التي تستخدم لتعويض الفقد من الدائرة المغلقة للبخار المغلي والبخار المتكثف ، فيجب أن تكون من ماء غير عسر أو من ماء منزوع الملوحة.

10.2.3ذوبانية ملح كبريتات الكالسيوم

تحدد ذوبانية كبريتات الكالسيوم بحاصل ضرب التركيز الجزيئي الجرامي Cca و Cso4 لأيونات الكالسيوم والكبريتات ، وعلي التوالي ولا يتساوي هذان التركيزان بالضرورة ، فعلي سبيل المثال ، يحتوي ماء البحر علي كبريتات الماغنسيوم وكبريتات الكالسيوم ولكن التركيز الجزيئي الجرامي بالكبريتات يزيد عن ثلاثة أضعاف التركيز الجزيئي الجرامي للكالسيوم ويسمي حاصل الضرب Cca × Cso4 حاصل الضرب الأيوني Ionic Product لكبريتات الكالسيوم في المحلول تحت الدراسة . وترتفع قيمة تركيز الأيونات وحاصل الضرب الأيوني بإستخلاص الماء النقي من المحلول ويوضح شكل رقم 10-19 هذه الزيادة كدالة في درجة التركيز بدءاَ بماء بحر متوسط (الخط المنكسر) وتشير درجات التركيز : 2 و 3 و 4 إلى تبخير نصف وثلثي ، وثلاثة أرباع الماء علي التوالي من ماء البحر المتوسط . ولقد تم حساب الخط المنكسر الموضح بالرسم من التركيزات الأولية للكالسيوم والكبريتات في مياه بحر متوسطة وذلك لتفادي حدوث أي ترسيب .



شكل رقم 10-19 : علاقة درجة التركيز للمحلول بتكوين القشور.

ويعرف المحلول المشبع من كبريتات الكالسيوم بأنه المحلول الذي يحتوي علي أعلي قيمة ممكنة لحاصل الضرب الأيوني في محلول مستقر عند درجة حرارة معينة . وتعرف أعلي قيمة هذه بناتج الذوبانية Product Solulubility يوضح شكل رقم 10-19 ناتج الذوبانية لكبريتات الكالسيوم Caso4 ويعتمد ناتج الذوبانية هذا نسبيا علي تركيزات الأيونات الأخرى الموجودة في مياه البحر مثل الصوديوم والماغنسيوم والكلور يد وعليه يتغير ناتج الذوبانية بعض الشيء مع درجة التركيز وتمثل جميع النقاط الواقعة أسفل هذا الخط محاليل غير مشبعة وهي محاليل مستقرة ناتج الذوبانية لحالتين من كبريتات الكالسيوم في ماء بحر ملح مركز عند درجة 100 مئوية وتأتى ذوبانية نصف الهيدرات أعلي من ذوبانية كبريتات الكالسيوم ويوضح الخط المنكسر زيادة حاصل الضرب الأيوني Cca × so4 بزيادة تركيز ماء البحر . وتناظر القيمة Log[cca × Cso4] - ناتج ذوبانية قدرة 10-3 أو 4.4 جرام من كبريتات الكالسيوم لكل لتر من مياه البحر

ولا تترسب أي قشور منها . أما جميع النقاط فوق الخط فتمثل تركيزات فوق التشبع ، وهي بالتالي تمثل محاليل غير مستقرة وقابلة لترسيب القشور ، ويمكن لهذه المحاليل أن تظل في حالة فوق التشبع لعدة ساعات.

و ممكن أن توجد كبريتات الكالسيوم علي هيئة نصف الهيدرات ($CaSO_4 1/2H_2O$)الصلبة ، حيث يشارك فيها كل جزيئين من كبريتات الكالسيوم جزيئا من الماء . وتذوب نصف الهيدرات أفضل من كبريتات الكالسيوم اللامائية ، كما هو واضح من ناتج الذوبانية في شكل رقم 10-19. وعمر المحاليل فوق المشبعة لنصف الهيدرات قصير نسبيا قبل أن تبدأ نصف الهيدرات الصلبة في الترسب . وتعرف المنطقة الموجودة فوق ناتج الذوبانية لنصف الهيدرات في المحاليل تحت الدراسة ، بمنطقة تكون القشور .

والعوامل السابقة هامة جدا ، إذا ما رغبنا في تقطير مياه البحر بدون ترسب قشور كبريتات الكالسيوم . وفي هذه العملية ، يتبع حاصل الضرب الأيوني الخط المنكسر في شكل رقم 10-19 في إتجاه السهم . وبتركيز مياه البحر إلى ثلثي حجمه الأصلي (أي بدرجة تركيز حوالي 1.5) ، يساوي حاصل الضرب الأيوني وناتج ذوبانية كبريتات الكالسيوم اللامائية . و بإستمرار التبخير ، قد تترسب كبريتات الكالسيوم اللامائية .ويمكن إستمرار عملية التقطير بأمان مالم توجد بذور تشجع وتحث علي حدوث التبلور . ولكن إذا ما تبخر ثلثا الماء (درجة تركيز 3) وبدأ حاصل الضرب الأيوني يزيد عن ناتج ذوبانية كبريتات الكالسيوم اللامائية ، فإنه تبدأ خطورة تكون القشور . وفي مثل هذه الحالة ينصح بطرد الماء الملح عندما يصل إلى هذا التركيز.

ويوصف الاستقرار عند درجات حرارة أخري برسومات بيانية مماثلة ولكنها تختلف بعض الشيء في قيمها العددية لناتج الذوبانية.

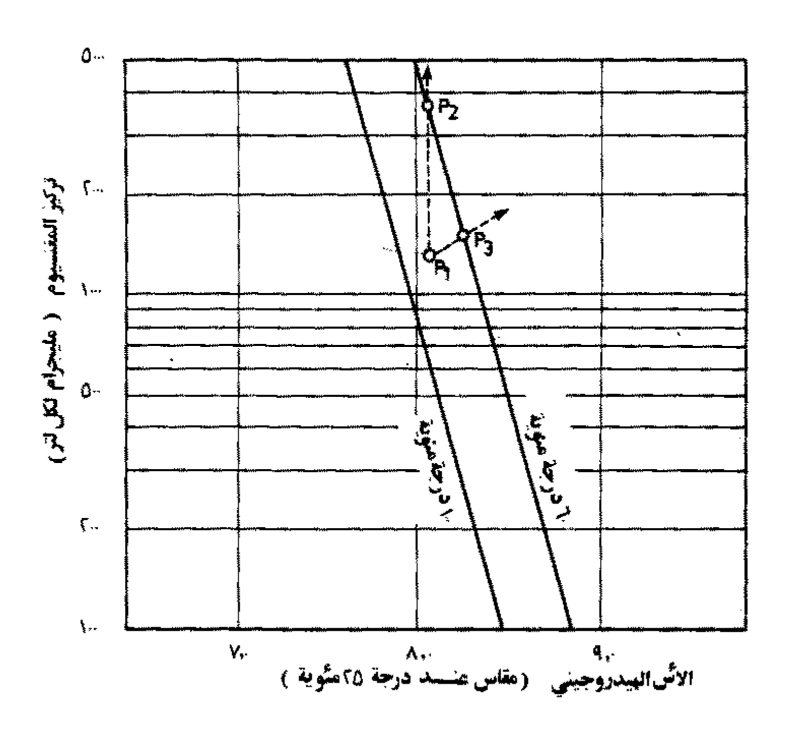
10.2.4 هيدروكسيد الماغنسيوم

لا يعتمد إستقرار المياه المالحة بالنسبة لقشور كبريتات الكالسيوم علي ملوحة المياهـ ، ولكن العكس صحيح لقشور هيدروكسيد المغنسيوم و كربونات الكالسيوم . ويترسب النوعان الأخيران من القشور من مياه متعادلة أو قلوية كما يمكن إذابة هذه القشور بالأحماض التي لا يمكنها إذابة كبريتات الكالسيوم.

والمعروف عن ذوبانية هيدروكسيد المغنيسيوم يقل بكثير في دقته بالمقارنة بما يعرف عن ذوبانية كبريتات الكالسيوم . كما أن ناتج ذوبانية هيدروكسيد المغنيسيوم يساوى CMg X (COH) 2 عند درجة 25 مئوية يقدر بحوالي 10 –11 جزئ جرامي مكعب لكل لتر مكعب . وبطريقة أخري عندما يزيد حاصل ضرب تركيز أيونات المغنيسيوم مع مربع تركيز أيونات الهيدروكسيد عن 10 –11 يبدأ ترسيب هيدروكسيد المغنيسيوم .

ولنأخذ ، علي سبيل المثال ، ماء بحر متوسط له C mg = 0.054 و C OH = 10 – 6 جزئ جرامي لكل لتر حيث قيمة * الأس الهيدروجيني (PH) = 8 . وعليه ، يكون حاصل الضرب الأيوني Cmg X (C OH)2 حوالي 5.4 X 10- 14 أي أقل من ناتج الذوبانية . وينتج من ذلك أن ماء البحر المتوسط لا يتشبع بهيدروكسيد المغنيسيوم عند درجة 25 مئوية ، ولكن يتزايد تحلل الماء بسرعة كبيرة إلي أيونات الهيدروجين والهيدروكسيد بزيادة درجة الحرارة . وبتبخير ماء البحر عند درجات حرارة أعلي من 70 مئوية ، نصل في الحال إلى نقطة حيث يزيد ناتج ذوبانية هيدروكسيد المغنيسيوم فيترسب عندئذ . وتعتمد قيمة حد السماح للذوبانية علي قيمة الأس الهيدروجيني لماء البحر كما هو موضح في شكل رقم 10-20 والذي يحوي منحنيات الذوبانية عند درجة 60 و 100 مئوية ، وتمثل النقاط الواقعة علي يسار أي خط ، لأي من درجتي الحرارة الموضحتين بالشكل ، إستقرار المحاليل بالنسبة لترسيب هيدروكسيد المغنيسيوم ، بينما تمثل النقاط الواقعة علي يمين الخط محاليل فوق التشبع . فعلي سبيل المثال ، تمثل النقطة P1 مياه بحر ذات أس هيدروجيني = 8.1 وتركيز مغنيسيوم قدره 1300 جزء في المليون . وكما أوضحنا سابقا ، فإن الماء لهذا التكوين يكون غير مستقر عند درجة 100 مئوية مما يرسب هيدروكسيد المغنيسيوم إذا ما سخن الماء إلى درجة 100 مئوية وحتى بدون أي تبخير .

والماء السابق عند نقطة P1 مستقر بالطبع عند درجة 60 مئوية ولكن بزيادة التركيز إلى 3600 جزء في المليون (نقطة P2) مع المحافظة علي قيمة الأس الهيدروجيني ثابتة – كما هو موضح بالخط المنكسر بالشكل ، فإن المحلول يصل إلي حالة التشبع وأية زيادة أخري في التركيز تعطي محلولا .



شكل رقم 10-20 : علاقة قيمة حد السماح للذوبانية بقيمة الأس الهيدروجيني لماء البحر.

علاقة الإستقرار لهيدروكسيد الماغنسيوم في ماء البحر عند درجة 60 و 100 مئوية المنطقة علي يمين الخط المعني تمثل فوق التشبع أي يكون المحلول غير مستقر وبالتالي تترسب قشور هيدروكسيد الماغنسيوم الخطوط P1 P3 و P1 P2 تمثل تبخير ماء بحري متوسط الخواص عند قيمة ثابتة للأس الهيدروجيني وبزيادة الأس الهيدروجيني علي التوالي (لاحظ أن المحور الأفقي يشير إلى قيمة الأس الهيدروجيني مقاسه بعد تبريد المحلول إلى 25 درجة مئوية ولا تقاس قيمة الأس الهيدروجيني عند درجة 60 أو 100 مئوية) مأخوذ عن لنجلير وأخرين غير مستقر ومن المستحيل تركيز المحلول مع ثبات قيمة الأس الهيدروجيني في عمليات التقطير لأن المحول يفقد ثاني أكسيد الكربون . نتيجة لتفكك الأيونات البيكربونات :

$$HCO_3^- \rightarrow CO_2^+ + OH^-$$

وبناء علي ذلك يزيد تركيز الهيدروكسيد وكذلك قيمة الأس الهيدروجيني مما يغير تكوين المحلول خلال خط يميل إلى اليمين مثل P3 P1 حيث نصل إلي التشبع أسرع مما لو ثبت مقدار الأس الهيدروجيني كما وضح سابقا.

و لفقدان ثاني أكسيد الكربون خلال التبخير أهمية بالغة في ترسيب قشور كربونات الكالسيوم .

10.2.5كربونات الكالسيوم .

كربونات الكالسيوم ضعيفة الذوبان جدا في الماء فالذوبانية حوالي 0.01 جرام لكل لتر عند درجة 25 مئوية ويمكن لهذه الذوبانية أن تزداد بكثرة بإضافة حمض وحتى الأحماض الضعيفة مثل حمض الكربونيك .له فاعلية في تحسين هذه الذوبانية.ويتكون حمض الكربونيك وبإذابة ثاني أكسيد الكربون في الماء وكلما أرتفع ضغط ثاني أكسيد الكربون كلما تحسنت الذوبانية فعند ضغوط 1 و 10 و 50 ضغطا جويا تصبح الذوبانية 0.84 و 1.73 و 2.83 جرام لكل لتر علي التوالي وتقل ذوبانية بإنخفاض درجة الحرارة .

وتوجد كثير من المياه الطبيعية ومنها مياه البحر مشبعة بكربونات الكالسيوم وبتسخين هذه المياه تترسب بعض مكونات الكالسيوم حتى إذا لم يفقد أي من غاز ثاني أكسيد الكربون من المحلول وحتي إذا لم يكن هناك أي تبخير . وبالطبع ، يسبب تسخين الماء عمليا فقد ثاني أكسيد الكربون من الماء . ولهذا السبب ، بالإضافة إلي التزايد المستمر في التركيز بتبخير الماء ، تترسب قشور كربونات الكالسيوم .

وتسمي هذه القشور – عادة – بالقشور اللينة . ولقد إكتشفت هذه القشور وحوربت منذ بداية عهد الغلايات البخارية . وهي أول القشور التي تبدأ في الترسب من الماء العذب . ويحدد إستقرار أي مياه بالنسبة لهذا النوع من القشور بدلالة ناتج الذوبانية Cca X Cco3 لتركيز أيون الكالسيوم وأيون الكربونات عند التشبع .ومن السهل نسبيا تحديد تركيز أيونات الكالسيوم بالتحليل الكيميائي الذي لا يمكن إستخدامه لتحديد تركيز أيونات الكربونات والتي تتفاعل جزئيا مع أيونات الهيدروجين وتنتج أيونات البيكربونات HCO_3

$$CO_2^- + H^+ \leftrightarrow HCO_3^+$$

ويعتمد إستمرار هذا التفاعل علي تركيز أيونات الهيدروجين كما نري من معادلة الإتزان . وتقل قيمة الأس الهيدروجيني لمعظم المياه المالحة عن 9 مما يجعل التفاعل في هذه المياه مكتملا تقريبا . ويمكن

القول إن تركيز أيونات الكربونات صغيرة جدا ، وبدلا من بذل أية محاولـة لقياسـها ، فإنـه من المناسب تحديد تركيز كل من أيونات البيكربونات والهيدروجين ، والتي يمكن استخدامها عند أيـة درجـة حرارة لتحديد تركيز أيونـات الكربون بـدون أي لـبس . ويمكن تعيين تركيز أيونـات البيكربونـات بالمعـايرة البسيطة باستخدام حمض . أما تركيز أيونات الهيدروجين ، فيعين بقياسات حرارية أو بقياسات كهربائية . لهذا ، تعطـي الرسـوم البيانيـة لاستقرار المـاء بالنسبة لكربونـات الكالسيوم بدلالـة هذين المتغيـرين ، بالإضافة إلي تركيز أيونات الكالسيوم ، كما هو موضح في شكل رقم 10-21.

ويفصل كل خط في الشكل بين المنطقة المستقرة (اليسار) والمنطقة غير المستقرة (اليمين) للماء عند تركيز معين من أيونات البيكربونات ويشـار إليها هنا بالقلويـة ويعبر عنها بوحدات مليجرام كربونـات كالسيوم لكل لتر والقلوية هي ببساطة تركيز أيونـات البيكربونـات (بـالمليجرام لكل لتـر) مضروبة في الرقم 0ر82 ومن الرسومات البيانية ، يمكننا أن نرى ما إذا كـان مـاء مـا مستقرا بالنسبة لكربونـات الكالسيوم عند درجتـي 60 و 100 مئويـة أم لا . فمثلا خذ نقطـة P1 فـي شكل رقم 10-21 والتـي تمثل ماء بحر أسـه الهيدروجيني يسـاوي 8.1 وتركيز كالسيوم مقداره 400 مليجرام لكل لتر . ولقد أظهرت التحاليل الكيماويـة أن القلويـة الكلية لمـاء البحر هذا حوالي 117 مليجـرام / لتر ويعبر عنهـا ككربونـات الكالسيوم . وكمـا هو واضـح من الرسم ، تـأتي النقطـة إلـي اليمين من خط القلويـة 117 مليجرام / لتر . ولما كان ماء البحر المتوسط غير مستقر عند هذه الدرجة من الحـرارة ، فـإن قشـور كربونات الكالسيوم في العادة تترسب منه . ويسمـي الفرق بين قيمـة الأس الهيدروجيني للعينـة وقيمتهـا المناظرة للتشبع (عند نفس القيم لتركيز الكالسيوم والقلوية الكلية) بدليل التشبع .

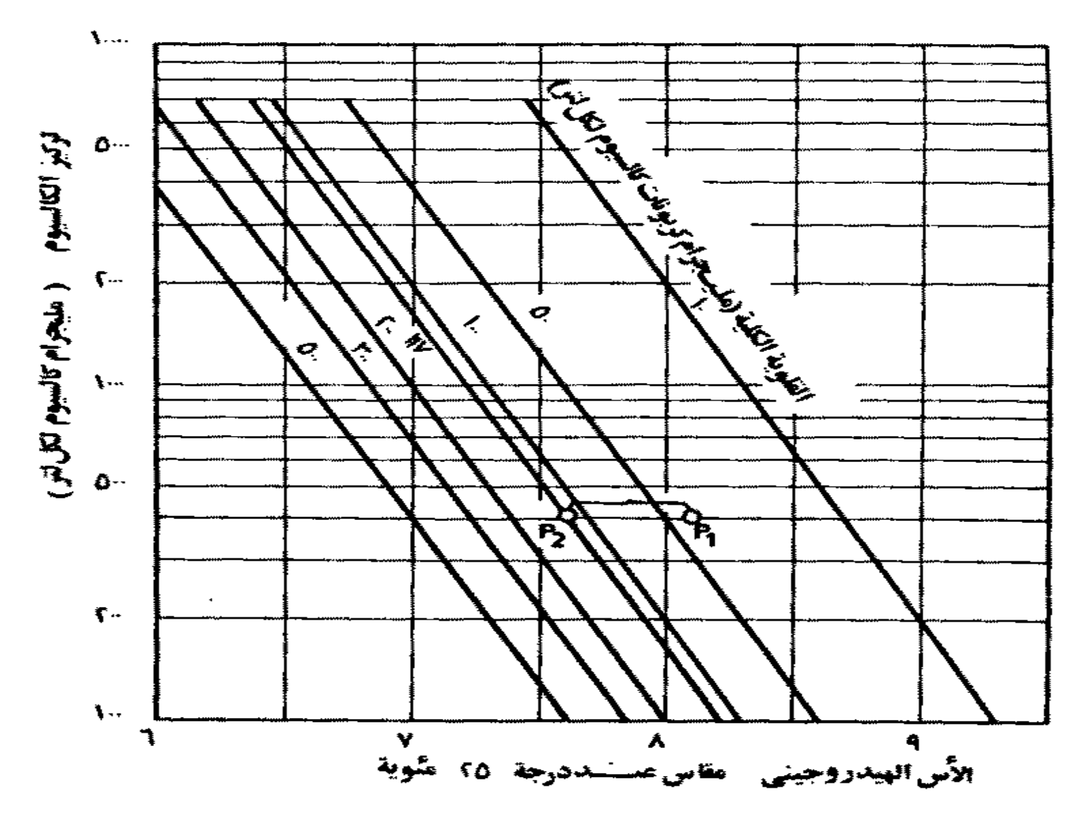
وتوضـح الرسـوم البيانيـة لإسـتقرار كربونــات الكالسـيوم عنـد درجتـي 60 و 100 مئويـة إنخفـاض الإستقرار بزيادة درجة الحرارة مع إستخدام البحر في كل الرسمين و بإستخدام أنـواع أخري مـن الميـاه لها مكونات مختلفة ، يطرأ تغير طفيف علي علاقات الإستقرار نتيجـة تـأثير المكونـات التـي لا تترسب مثل الصوديوم والبوتاسيوم والتي تكون في العادة صغيرة ما لم تكن التركيزات مرتفعة جدا.

وبأخذ نتائج الإستقرار لكل من كبريتـات الكالسيوم و هيدروكسيد الماغنسيوم وكربونـات الكالسيوم في ماء البحر يمكن إستنتاج الأتي : تترسب قشور كربونات الكالسيوم عند درجات حرارة منخفضة نسبيا (مثل 60 5 م) لأن ماء البحر مشبع عمليا بكربونات الكالسيوم . وتتكون قشور هيدروكسيد المغنيسيوم عند درجـات الحـرارة المرتفعة أو عندما يتشـبع مـاء البحـر نسبيا بهذا الملـح . وبترسيب هيدروكسيد الماغنسيوم ينتج حمض مما يكبح ترسيب كربونات الكالسيوم :

$$Mg_2^{+} + 2H_2O \rightarrow Mg\ (OH)_2 + 2H^{+}$$

أما خطورة تكوين قشور كبريتات الكالسيوم فتبدأ عند درجة 100م ° وفقط إذا تركز ماء البحر إلي ثلثي حجمه ، وتزداد هذه القشور شدة إذا تبخر ثلث آخر . لذا، فإنه ليس من المستغرب أن تتكون القشور المتكونة في مقطرات ماء البحر التي تعمل عند درجات حرارة منخفضة (حتى درجة 60مئوية) أساسا من كربونات الكالسيوم أما في الوحدات التي تعمل ما بين درجتي 60 و 100 مئوية فتتكون فيها القشور من خليط من كربونات الكالسيوم . و هيدروكسيد الماغنسيوم ، وتزداد نسبة هيدروكسيد الماغنسيوم بإرتفاع درجة الحرارة . ولقد أظهرت تحاليل المقطرات التي تعمل عند درجات حرارة أعلى من 100 درجة مئوية أن القشور المتكونة بها تحتوى على نسبة مرتفعة من كبريتات الكالسيوم التي تزداد نسبتها بإرتفاع درجة الحرارة . ولا يعتمد معدل تكوين القشور علي درجة فوق التشبع للمكونات فقط وإنما يعتمد كذلك علي عوامل أخري كثيرة ، مثل ، بنيان السطح وغالبا علي شكل الدوران وعدد مرات تغيير الماء الملح في المقطر ، وكل هذه القواعد ومدي إعتماد تكوين القشور علي درجة حرارة التشغيل تقريبية بحتة .

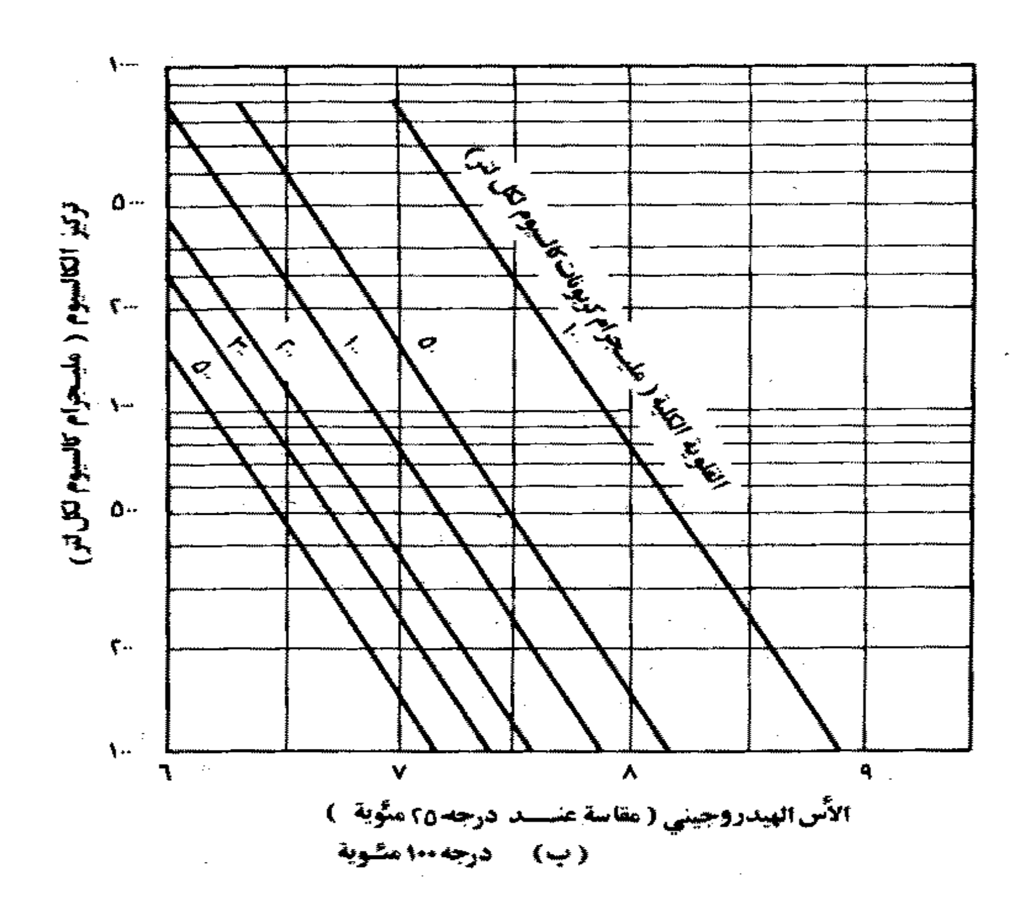
وعلي سبيل المثال ، تحتوي في العادة عينات القشور المتكونة في مبخرات الإنضغاط الحراري thermo compression evaporators التي تعمل عند درجة 100 مئوية علي هيدروكسيد الماغنسيوم مع إختفاء كربونات الكالسيوم من العينة كليا . ويبدو هذا كأن كربونات الكالسيوم قد تكون موجودة في محلول فوق التشبع أو علي الأقل تكون معلقات دقيقة لمدة أطول من هيدروكسيد الماغنسيوم



شكل رقم 10-21 : علاقة الرقم الهيدروجيني امياه البحر وع تركيز الكالسيوم عند درجة 60 مئوية.

علاقة استقرار كربونـات الكالسيوم لقلويـات مختلفة : (أ) عند درجـة 60 مئويـة ، (ب) عند درجـة 100 مئوية . تم حساب الخطوط لماء بحر متوسط الخواص ، وهـي سـارية لأنـواع المـاء الأخري ذات التكوين المماثل . ويشير كل خط إلي ماء بقلوية معينة . وتمثل المنطقـة علـي يمين الخط المعنـي درجة فـوق التشـبع ، أي محلـول غيـر مسـتقر ، وبالتـالي يتوقـع ترسـيب قشـور كربونـات الكالسـيوم . وتعـرف القلوية في الرسم بوحدات (مليجرام كربونات الكالسيوم لكل لتر) وتمثل النقطة P1 تركيز الكالسيوم وقيمة الأس الهيدروجيني لماء البحر المتوسط . أما فرق الأس الهيدروجيني بين النقطتين P1 و P2 فحوالي 0.5 وهو يمثل دليل التشبع . مأخوذ من لانجلير و أخرين .

أما في الماء الأخضم بخصائصه المختلفة ، فإن مناطق درجات حرارة الأنواع المختلفة من القشور



شكل رقم 10-22 : علاقة الرقم الهيدروجيني امياه البحر وع تركيز الكالسيوم عند درجة 100 مئوية.

تختلف طبقا لتركيزات الأيونات في الماء.

10.2.6 منع التقشر

بالرغم من وجود العديد من الطرق لمنع التقشر (تكون القشور) في عمليات التقطير ، إلا أن معظمها باهظ التكاليف . ويعتمد إختيار الطريقة الصحيحة علي الأتي :

1- طبيعة الماء الخام.

2- ظروف تشغيل العملية.

أما في حالات إزالة الملوحة الأخرى فيعرف القليل فقط عن منع تكون القشور .

ويمكن تصنيف طرق منع تكون القشور في التقطير إلي عدة تقسيمات :

3- تصميم الوحدة والعملية بحيث لا توجد أية فرصة لتكون القشور من المحلول فوق المشبع قبل مغادرته للوحدة .

4- إزالة الأملاح المكونة للقشور قبل عملية التقطير (إزالة العسر) .

5- إضافة كيماويات مثل الأحماض وذلك لمد مدى درجات الحرارة الذي يكون فيه الماء مستقرا .

6- إضافة مركبات لتأخير ترسيب القشور مثل البوليفوسفات ، أو لتسمح بترسيب القشور اللينة السهل إزالتها بدلا من تلك التي تلتصق بالأسطح الصلبة .

7- حدوث الترسيب في أبراج خاصة سهلة التنظيف.

وأهم عامل في منع التقشر هو إختيار اقل درجة حرارة ممكنة للتشغيل لأن حالة فوق التشبع تزداد بارتفاع درجة الحرارة ، ولسوء الحظ تحتاج عادة هذه الطريقة للتشغيل إلي معدات كبيرة ومن الضروري الوصول إلي أفضل تكلفة اقتصادية وذلك بالتوازن بين خفض تكون القشور وتكلفه التشغيل من جهة ، وانخفاض قيمة رأس المال المستثمر من جهة أخري . وبالطبع ، هناك تأثير كبير للتصميم وظروف تشغيل العملية علي تحديد أفضل وضع إقتصادي ، ويفضل الأسطح الملساء لإنتقال الحرارة لأنها تعطي نويات قليلة للبلورة ويبدو من المعقول أن ينخفض زمن بقاء الماء في الوحدة إلي الحد الأدنى ، وإلا توجد أية جيوب حيث يصبح الماء ساكنا . ومن المفيد أيضا المحافظة علي سر عات عالية لدوران الماء الملح .

ويلزم في بعض الأحيان إزالة عسر الماء الملح قبل الإزالة الكاملة للأملاح . ومع بعض الأستثناءات ، فإن الماء الملح يعتبر عسرا نسبيا ، كما أن تكلفة كل من كيماويات المعالجة ومحطات إزالة العسر مرتفعة إلي حد ما . ويحتوي ماء البحر بالتقريب علي حوالي 6 كيلو جرامات من الأملاح العسرة (ممثلة في كربونات الكالسيوم) لكل متر مكعب . (يمثل هذا حوالي 50 مثلا أعلي من الموجود في المياه السطحية المعالجة في محطات البلدية) وتقدر كمية الكيماويات اللازمة لإزالة العسر بقيمة مقاربة لمقدار الأملاح . وعليه ، تستهلك محطة إنتاجيتها حوالي 5000 متر مكعب يوميا حوالي عدة عشرات من الأطنان من الكيماويات يوميا ، بالإضافة إلي وجود محطة كبيرة لإزالة العسر . وفي بعض الأحيان ، يمكن الاستفادة من الكالسيوم والماغنسيوم في إنتاج كيماويات قد تكون مطلوبة في نفس المنطقة التي تتطلب إزالة ملوحة مياه البحر بها عندئذ تصبح إزالة العسر لكمية محدودة مجدية إقتصاديا خصوصا للماء الأخضم والذي له عسر أقل من مياه البحر .

وتأتي طريقة حقن الحمض لخفض قيمة الأس الهيدروجيني كواحدة من أرخص طرق منع تكون القشور . ويمثل هذا في شكل رقم 10-21 و شكل رقم 10-22 بالحركة إلي يسار النقطة التي تمثل مكونات الماء لخفض قيمة الأس الهيدروجيني وبالتالي تصبح في منطقة أكثر استقرار . وعلي أي حال ، ليس هناك أي تأثير عملي لحقن الحمض علي درجة فوق التشبع لكبريتات الكالسيوم ، إلا إذا استخدم حمض الكبريتيك حيث تزداد درجة التشبع فعليا بإضافة أيونات الكبريتات مع الحمض ، أما إذا كان الماء المستخدم هو ماء البحر ، فإن هذه الزيادة تهمل بالمقارنة بتركيز الكبريتات الموجودة أصلا .

ويمكن إستخدام حمض الكبريتيك أو حمض الهيدروكلويك الرخيص الثمن ، ولكن هناك عيباً رئيسيا وهو أن الجرعات الزائدة قد تسبب مشاكل تآكل . وفي المنشآت الكبيرة قد يكون أجدي أن نتحكم في قيمة الأس الهيدروجيني بإستخدام أجهزة لحظية ذات تغذية مرتدة devices feedback . أما في الإنشاءات الصغيرة فتستخدم الأحماض الضعيفة ، مثل حمض السيتريك ، بالرغم من أن هذه الأحماض أكثر تكلفة . كما يمكن بدلا من استخدام محاليل صحية للأحماض أن تستخدم محاليل من الأملاح التي تتفكك جزئيا إلى أحماض بالتميؤ عند وضعها في محاليل مائية ، مثل محاليل كالوريد الحديديك بمعدل حوالي 150 جراماً من كلوريد الحديديك السداسي الجزيئات التجاري لكل طن من ماء البحر . ولقد أمكن التحكم بسهولة في الجرعة بالإنتاج الكهروليتي لكلور يد الحديديك في الموقع مباشرة في مياه البحر . وفي هذه العملية، تستخدم أنودات الحديد للتضحية بالإذابة في مياه البحر مكونة أولاً حديدوز ثم بعدئذ كالوريد الحديديك .

ولقد وجد الكثير من المركبات التي يمكنها تأخير ترسيب القشور بدلا من منعها ، ويعتمد إختيار المنتج المناسب علي طبيعة المياه وظروف التشغيل . ولقد وجد الكثير من طرق معالجة القشور القديمة بالخبرة وليس بالبحث . وهناك قصة مشهورة ، ولكنها غير مؤكدة ، عن إستخدام النشا كمانع لتكون القشور . فمنذ عدة سنوات مضت ، يقال إن عدداً من العمال قاموا بصيانة غلاية كبيرة جدا ثم قرروا تناول غذاؤهم داخل جسم الغلاية ، وسهواً ترك أحدهم بعض البطاطس داخل الغلاية وقاموا بعد ذلك بتشغيل الغلاية . ولقد لوحظ بعد ذلك تكون قشور لينة خلال التشغيل التالي للصيانة ، كما أمكن تشغيل الغلاية لفترة أطول قبلما تبدأ عملية التنظيف مرة أخري .

ولقد استخدمت خلطات من نشا الذرة ، والصودا وفوسفات ثنائية الصوديوم phosphate disodium في معالجة الماء لعدة سنوات وأثبتت كفاءتها . ولقد وجد أن خليطا من ثلاثي عديد فوسفات الصوديوم sodium tri-polyphosphate مع مشتقات حمض السلفونيك الخشبية ، وإسترات الجلايكولات متعددة الألكيلين esters of poly-alkaline glycols مناسبة

للإستخدام ، خصوصا لخفض تكون القشور في التقطير الفجائي لماء البحر بشرط ألا تزيد أقصي درجة حرارة للماء الملح عن 86 مئوية . وتعادل الجرعة حوالي 5 جزء في المليون في ماء البحر ، أي يعادل 10 جرام لكل متر مكعب من الماء العذب بفرض تبخير نصف الماء من الماء الملح . وتلعب تقنية معالجة المياه التقليدية ، والتي تطورت جيدا في المائة عام الماضية ، دورا هاما في تخطيط وتشغيل محطات إزالة الملوحة . وبدلا من إستخدام عديد الفوسفات ، وهي محاليل متعددة الإلكتروليتية غير عضوية polyelectrolytes inorganic ، يمكن لبعض البوليمرات العضوية الذوابة في الماء أن تبشر بإمكانية إستخدامها كمانع جيد لتكون القشور ، مثل الأحماض الكربوكسيلية المتبلمرة carboxylic acids polymeric .

ويعتمد تأثير معظم المواد الإضافية لمعالجة تكون القشور علي ظواهر رغوية . وبالرغم من أن إضافة عديد الفوسفات تكون مركبات ذوابة من الكالسيوم ، إلا أن الكميات التي تضاف من هذا العامل للمعالجة ضئيلة جدا مما يصعب معه شرح تأثيرها بهذه الطريقة . ومن المعتقد أن فاعلية كالوريد الحديديك في معالجة تكون القشور تسببها جزئيا المركبات الرغوية للحديد التي تتكون بالتحلل المائي hydrolysis والتي تعمل كواق رغوي لتأخير ترسيب مركبات القشور .

ومن المعتاد في كثير من الأحيان ، وضع بذور من المعادن التي تكون القشور في المياه الملحة المغلية في كثير من الصناعات الكيميائية . وتعمل هذه البذور كنويات لتكوين حماة sludge لينة في السائل بدلا من تكون القشور علي الأسطح الصلبة . وكمثال علي ذلك ، فإنه يمكن منع تكون قشور كبريتات الكالسيوم في مبخرات إنتاج الملح المعتاد بوضع بلورات كبريتات الكالسيوم معلقة في السائل .وليس من اللازم إستخدام بذور مماثلة لمعادن القشور ، ويمكن إستخدام مساحيق عديدة كنويات . وتعتمد طريقة الإتزان التلامسي (Contact Stabilization) علي قاعدة مماثلة . ففي هذه الطريقة يسحب الماء الملح فوق المشبع من المبخر قبلما يتاح له الوقت لترسيب القشور . ثم يتضح هذا الماء الملح إلي أعلي خلال فرشة من الرمال حيث يتم ترسيب القشور ، ثم يعود الماء المالح مرة أخري إلي المبخر . وتنظيف فرشة التلاصق علي فترات متناوبة .

ويمكن في بعض الأحيان خفض تكاليف إزالة القشور بإستعمال تصميمات خاصة للمعدات ، مثل إستخدام عناصر تسخين من النوع القفصي (basket type) ذي صفيحة من معدن المونل بها أخاديد عميقة . ويتكثف البخار داخل القفص مما يؤدي إلي تسخين ماء البحر خارجه . وبعدما تترسب كمية معينة من القشور علي السطح الخارجي للقفص يتم إحلال سريع لماء بارد بدلاً من الماء الملح الساخن . وكنتيجة لهذا التبريد المفاجئ تنكمش الأخاديد مما يزيل علي الأقل جزءاً من القشور القصيفة(Brittle Scale).

11نبذة تاريخية عن التناضح العكسي

تعتبر هذه الطريقة من أنجح الطرق حالياً ومن أحدثها في مجال تحلية مياه البحر وتصلح أساساً لجميع أنواع المياه حتى 55000 جزء/ مليون.

ولقد أكتشفت ظاهرة التناضح منذ زمن بعيد ولكنها لم تستغل إلا منذ فترة وجيزة ويرجع الفضل الأكبر لإكتشاف ظاهرة التناضح إلى شاب فرنسي سنة 1895 م .

حيث كان هذا الشاب من مُدمني شرب النبيذ وكان يُعِدَهُ في منزله وذات مرة وضع محلول النبيذ المركز في إناء وقام بتغطية هذا الإناء بغطاء من الجلد ووضعه في برميل مياه لحفظه وبعد فترة وجد أن النبيذ قد زاد حجمه وقل تركيزه ولم يجد هناك أي ممر لمرور المياه من خارج الإناء إلى داخله وهنا أكتشف أن هذا الغطاء الجلد هو الذي سمح بمرور المياه الأقل تركيز إلى محلول النبيذ الأكثر تركيزاً.

ومن تلك اللحظة زادت الأبحاث العلمية لاستغلال هذه الظاهرة العلمية لإنتاج المياه العزبة من مياه البحار والمحيطات.

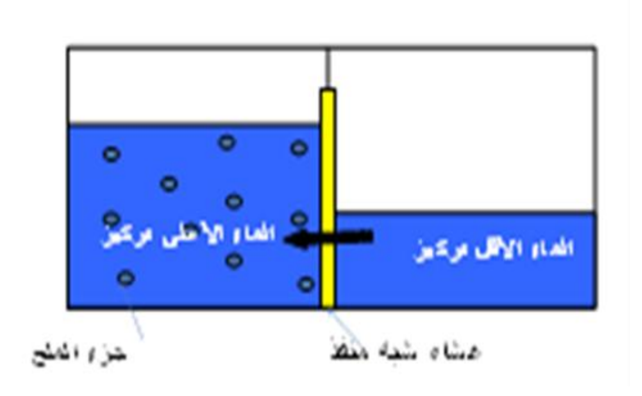
وتعتمد أجهزة التناضح العكسي وخاصة الأجهزة ذات الأغشية على هذه الظاهرة وذلك باستخدام الأغشية وتعتبر التناضح العكسي هي من أوسع الطرق انتشاراً في المجال المدني و العسكري حيث أنها تعمل على مصادر مختلفة من المياه من حيث المصدر ودرجة الملوحة التي تصل الملوحة فيها من 25000 : 60000 جزء / مليون.

وسوف نتناول هذا الموضوع بالتفصيل والتدقيق لأنه سيتم إدخال الحاسب الآلي على هذه المحطات وسوف نشرح فيما بعد أهمية استخدام الحاسب الآلي في السيطرة والمحافظة على أفضل أسلوب للتشغيل والحصول على مياه عالية الجودة.

12الفرق بين التناضح الطبيعي والتناضح العكسي

12.1 تعريف التناضح

فالتناضح هي ظاهرة طبيعية معروفة من قديم الأزل والغشاء الذي يحمل هذه الظاهرة يسمى بالغشاء الأسموزى فإذا وضع هذا الغشاء الإسموزى نصف أو شبه النفاذ بين محلولين أحدهما ذو تركيز أعلى من الآخر فإن المياه تنتقل من المحلول الأقل تركيزاً إلى المحلول الأعلى تركيزاً ويستمر انتقال المياه حتى يتساوى تركيز الأملاح في كلا المحلولين كما يظهر في شكل رقم 12-1.



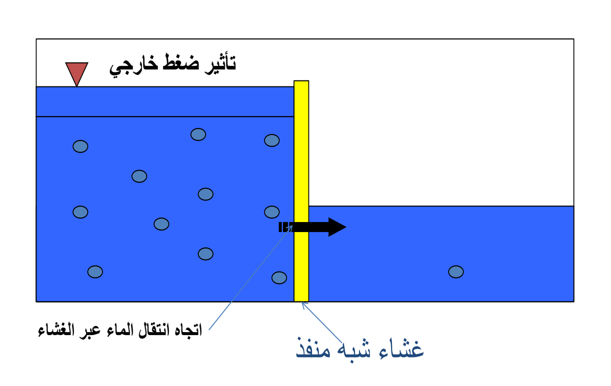
شكل رقم 12-1 : ظاهرة التناضح الطبيعية.

وتضح هذه الظاهرة فى الطبيعة فى عملية إنتقال الماء من التربة الى النبات.
حيث أن تركيز المحلول الملحي داخل جذور النبات أعلى من تركيز المحلول الملحي داخل التربة مما يؤدى إلى إنتقال الماء من التربة إلى النبات فيما تعرف بظاهرة التناضح أو الضغط الأسموزى للنبات.

12.2 التناضح العكسي

هي انتقال المياه من المحلول الأعلى تركيزاً إلى المحلول الأقل تركيزاً تحت تأثير ضغط خارجي أعلى من الضغط الإسموزى للمحلول المركز ويزداد انتقال المياه عبر الغشاء كلما زاد تأثير هذا الضغط كما فى شكل رقم 12-2.

ومن الواضح أن الضغط الإسموزى يزيد كلما زاد الفرق بين تركيز الأملاح في المحلولين على جانبي الغشاء . ولقد أجريت عدة تجارب عديدة لقياس الضغط الإسموزى لماء البحر في مواجهة الماء العذب ؛ فوجد أن هذا الضغط يساوى psi1 لكل 100 جزء في المليون ملوحة وهذا يعنى أن مياه البحر التي ملوحتها 35000جزء / مليون لها ضغط أسموزى يساوى psi 350 تقريباً.



شكل رقم 12-2 : عملية التناضح العكسي.

لذلك لنجاح عملية التناضح العكسي يتطلب ذلك أن نستخدم ضغطاً يزيد على الـ psi 350 من ناحية ماء البحر وبقدر الزيادة في هذا الضغط يزداد تدفق المياه من ناحية المياه الحلوة ومن ثم زيادة الكفاءة الإنتاجية.

13مميزات وخصائص تكنولوجيا التناضح العكسي

أ. تعمل عند درجات حرارة منخفضة ، لذا يقلل من التآكل والترسيبات.
ب. ملوحة الماء المنتج من تحلية ماء البحر من 300 : 500 وهي تناسب مياه الشرب.
ج. مرونة سعة الوحدات من عدة لترات إلى مئات الآلاف من المتر المكعب في اليوم.
د. تحتاج إلى طاقة كهربية فقط.

محطات التحلية التى تعمل بنظرية التناضح العكسى

والآن وبعد أن استعرضنا فكرة عمل الأغشية لا بد أن نتعرف على فكرة عمل محطة التحلية ومسار المياه فيها بدءاً من المياه المالحة حتى وصول المياه للمستهلك.

مكونات محطة التحلية التقليدية

1. مضخة تغذية بمياه البحر.
2. نظام حقن محلول الكلور (للمياه المالحة).
3. نظام حقن محلول المادة المروبه (للمياه المالحة).
4. نظام حقن محلول الحامض (للمياه المالحة).
5. نظام حقن محلول مانع الترسيب للأملاح (للمياه المالحة).
6. فلتر رمل متعدد الطبقات.
7. فلتر قطن حتى 5 ميكرون.
8. مضخة ضغط عالي.
9. أغشية تحلية مياه البحر
10. مضخة المياه المنتجة.
11. خزان المياه المنتجة.
12. نظام حقن محلول الكلور (للمياه المعالجة).
13. نظام حقن محلول كربونات الصوديوم (للمياه المعالجة).

13.1 أنواع الأغشية المستخدمة في التحلية على حسب درجة إزالة العوالق والأملاح

13.1.1الترشيح الدقيق أو الترشيح الميكروني Micro filtration

ويتراوح حجم مسام الأغشية فيه من 1- 10 ميكرون ويحتاج إلى ضغط 1- 5 بار ويقوم بإزالة الرواسب والغرويات ومثال على ذلك الفلتر القطني 5 ميكرون.

13.1.2الترشيح فائق الدقة Ultra Filtration

ويتراوح حجم مسام الأغشية فيه من 0.05 - 0.005 ميكرون ويحتاج إلى ضغط 5 ÷ 10 بار ويقوم بإزالة الرواسب والغرويات والبروتينات والمواد العضوية ذات الوزن الجزئي العالي والطحالب والبكتريا.

13.1.3الترشيح متناهي الدقة (الترشيح النانو) Nano Filtration

ويتراوح حجم مسام الأغشية فيه من0.0005-0.005ميكرون ويحتاج إلى ضغط 10-20 بار ويقوم بإزالة الرواسب والغرويات والبروتينات والمواد العضوية ذات الوزن الجزئي العالي و الأيونات ثنائية التكافؤ.

13.1.4أغشية التناضح العكسي Reverse Osmosis

ويتراوح حجم مسام الأغشية فيه من0.0001-0.001ميكرون ويحتاج إلى ضغط 20÷80 بار ويقوم بإزالة الرواسب والغرويات والبروتينات والمواد العضوية ذات الوزن الجزئي العالى والأيونات ثنائية التكافؤ والأيونات أحادية التكافؤ.

جدول رقم 13-1 : جدول يوضح خصائص أغشية الترشيح المختلفة ومقارنتها بالتناضح العكسي

أنواع الأغشية	حجم المسام (ميكرون)	الضغط (بار)	المواد التي يمكن فصلها	شكل الأغشية
ترشيح رقيق Micro filtration	1÷10	1-5	رواسب وغرويات	أنبوبي
ترشيح فائق Ultra Filtration	0.05 ÷ 0.005	5- 10	رواسب-غرويات وبروتينيات ومواد عضوية ذات وزن جزئي عالي والطحالب والبكتريا	أغشية على شكل شعيرات جوفاء دقيقة
ترشيح متناهي الدقة Nano Filtration	0.005÷ 0.0005	10- 20	رواسب وغرويات وبروتينيات ومواد عضوية ذات وزن جزئي عالي والطحالب والبكتريا والأيونات ثنائية التكافؤ	أغشية مستوية مركبة
التناضح العكسي Reverse Osmosis	0.001 ÷ 0.00001	20- 80	رواسب وغرويات وبروتينيات ومواد عضوية ذات وزن جزئي عالي والطحالب والبكتريا والأيونات ثنائية التكافؤ والأيونات أحادية التكافؤ	أغشية مستوية مركبة وملفوفة في شكل حلزوني

13.2 الفرق بين عمليتي الترشيح الدقيق والتناضح العكسي

يتفق كلاً من عمليتي التناضح العكسي ، والترشيح الدقيق في أنهما يفصلان الماء عما يحتوي من مكونات ، إلا أن الترشيح الميكروني يفصل المواد العالقة فقط، في حين أن الترشيح الدقيق والترشيح المتناهي الدقة والتناضح العكسي ، يمكنهما فصل العناصر الذائبة، و جدول رقم 13-2 يوضح بعض الفرق بين عملية الترشيح والتناضح العكسي.

جدول رقم 13-2 : الفرق بين الترشيح الدقيق والتناضح العكسي.

م	الترشيح الدقيق	التناضح العكسي
01	الضغط الأسموزي صغير جداً	الضغط الأسموزي مرتفع حسب ملوحة الماء
02	الملوحة لا تزداد مع الترشيح	الملوحة تزداد لفصل الماء العذب أثناء العملية
03	تترسب العوالق المفصولة علي الغشاء.	يمر الماء العذب ويبقي المحلول الملحي
04	السريان عمودي علي المرشح لفصل العناصر منه	سريان الماء المالح موازي للغشاء
05	الترشيح (حتى الدقيق) يحتاج لضغط منخفض (حتى 5 بار)	يحتاج إلى ضغط مرتفع لأداء العملية (أكثر من عشرة أمثال الترشيح الدقيق)
06	لا يزيل إلا العناصر المذابة ذات الوزن الجزئي المتوسط	يمكن إزالة العناصر ذات الوزن الجزئي الصغيرة .

13.3 أهم الأنظمة المستحدثة في أنظمة المعالجة الأولية لتحليه مياه البحر

13.3.1 نظام الترشيح فائق الدقة Ultra Filtration

وهى أغشية على شكل شعيرات جوفاء دقيقة يتراوح حجم مسام الأغشية فيها من 0.005-0.05 ميكرون ويحتاج إلى ضغط 5- 10 بار حيث تقوم بإزالة الرواسب والغرويات والبروتينات والمواد عضوية ذات الوزن الجزئي العالي والطحالب والبكتريا.

13.3.2مميزات أغشية الترشيح فائق الدقة Ultra Filtration

1- لـه قـدرة أعلـى علـى إزالـة الشـوائب حيـث يقـوم بإزالـة الرواسـب والغرويـات والبروتينـات والمـواد العضـوية ذات الـوزن الجزئـي العـالي والطحالـب والبكتريـا يـتم تركيبـه بـين خـط البحـر ووحـدة التحليـة مباشـرة، شـكل رقـم 13-1يوضـح الشـكل العام لوحدة الترشيح فائق الدقة.
2- لا يحتـاج إلـى فلاتـر رمليـة أو قطنيـة حيـث تقـوم الأغشـية بمنـع مـرور الرواسـب والغرويات والبروتينات والمواد العضوية ذات الوزن الجزئي العالي.
3- لا يحتـاج إلـى نظـام حقـن كلـور أولـى وإزالتـه حيـث يـتم حيث تقوم الأغشـية بمنـع مـرور والطحالـب والبكتريـا حيـث يتـراوح حجـم مسـام الأغشـية فيهـا مـن 0.05-0.005 ميكرون أي أقل من حجم الخلية الطحلبية أو الخلية البكتيرية.
4- مادة الصنع للأغشية تتحمل كلور حر حتى 5000 جزء في المليون.
5- انخفاض معدل تكلفة التشغيل على المدى الطويل.
6- صـغر المسـاحة المطلوبـة لأعمـال تركيـب النظـام ولا تحتـاج إلـى أعمـال مدنيـة مكلفة.



شكل رقم 13-1: شكل وحدة ترشيح فائق الدقة (Ultra Filtration).

13.3.3 نظام الطفو بواسطة الهواء المذاب DAF (Dissolved Air Floatation)

وهو نظام معالجة لمياه البحر المحتوية على نسبة عالية من الزيوت.

13.3.3.1 نظرية عمل نظام DAF

تعتمد نظرية عمل النظام على مبدأ ارتفاع قوة التماسك للزيوت مع العوالق الموجودة بالمياه وانخفاض كثافة الزيوت عن كثافة المياه.

13.3.3.2 مكونات نظام DAF

حوض خراساني كبير الحجم مقسم إلى ثلاث غرف

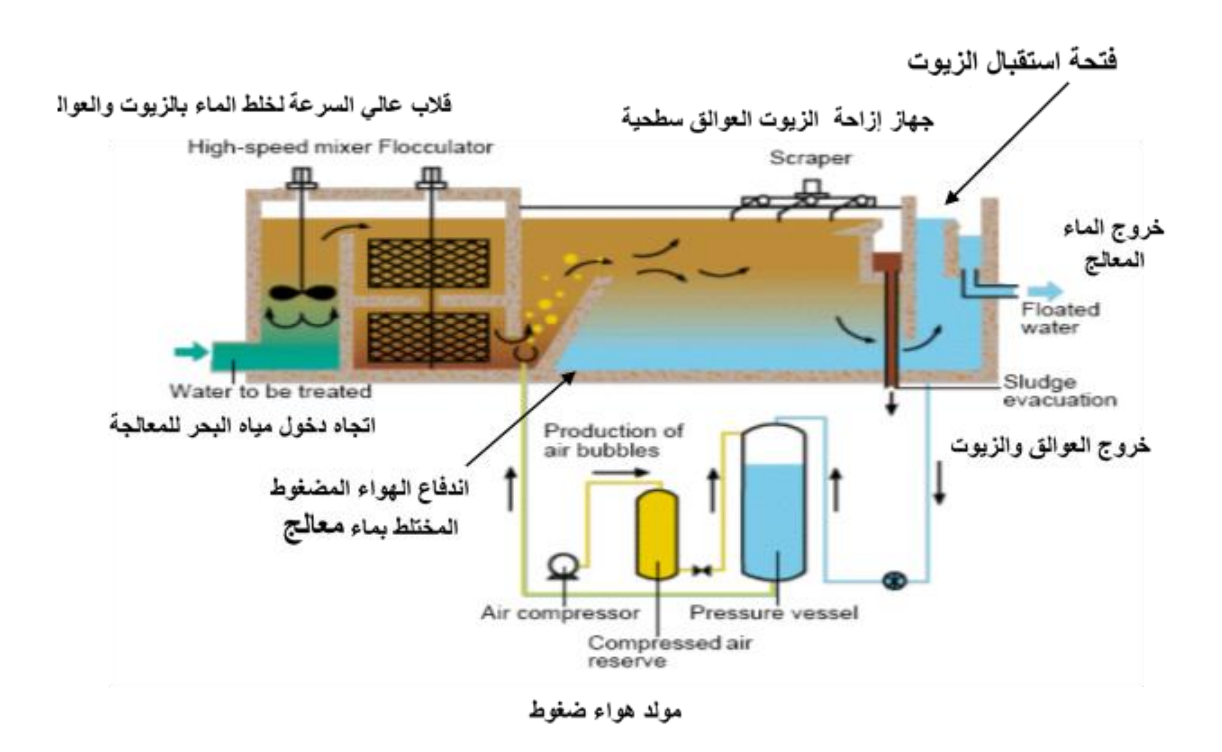
1- غرفة الخلط : (والتي تحتوي على خلاط سريع الحركة ليتم خلط الماء بالزيوت).
2- غرفة التعويم : (حيث يتم دفع هواء من أسفل الغرفة ليتم إزاحة الزيوت وما تحتويه من عوالق إلى سطح حوض الفصل بفعل وزنها الجزئي الأقل من الماء).
3- غرفة الفصل : (حيث يتم تجميع الزيوت والعوالق السطحية وإمرارها إلى مجرى تجميع إلى الخارج ويتم سحب الماء المعالج بعد تنقيته من الزيوت إلى الفلتر الرملي لتبدأ مرحلة المعالجة الأولية التقليدية).

شكل رقم 13-2 يوضح طريقة عمل نظام (DAF).

13.3.3.3 خطوات عمل نظام DAF

1- يتم سحب ماء البحر بواسطة مضخة التغذية إلى الغرفة رقم1 (غرفة الخلط) حيث يتم خلط الماء بالزيوت من خلال تقليب السريع.

2- يمر الماء بعد الخلط الجيد للماء مع الزيوت من فتحة أسفل الجدار الفاصل بين غرفة الخلط وغرفة التعويم.
3- يتم دفع هواء مضغوط ومختلط بماء مفلتر مع مسار الماء المار من غرفة الخلط ليتم إزاحة الزيوت وما تحتويه من عوالق إلى سطح حوض الفصل بفعل وزنها الجزئي الأقل من الماء.
4- يتم تجميع الزيوت والعوالق السطحية بواسطة جهاز تجميع إلى فتحة استقبال بغرفة الفصل وسحب الماء المعالج من الزيوت من فتحة أسفل الجدار الفاصل بين غرفة التعويم وغرفة الفصل.



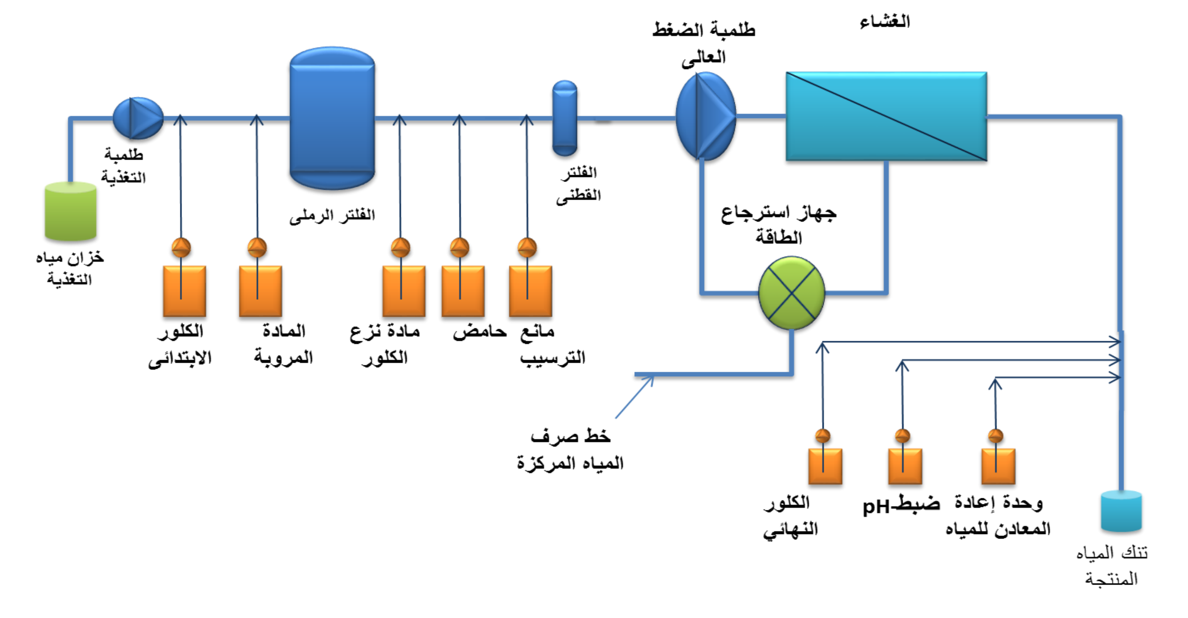
شكل رقم 13-2: طريقة عمل نظام (DAF).

13.4 مكونات وحدة معالجة مياه البحر بالتناضح العكسي

ومن المعروف أن أي محطة تحلية بالتناضح العكسي تتكون من الثلاث مراحل الآتية:

كما هو موضح شكل رقم 13-3

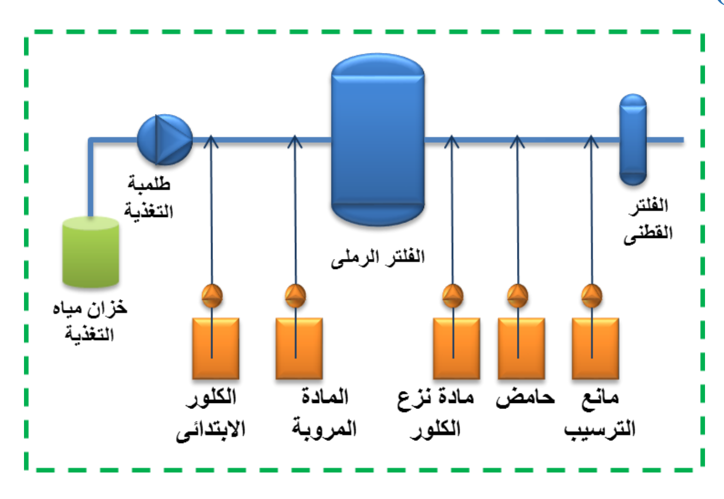
1- مرحلة المعالجة الابتدائية وفيه يعالج الماء من الشوائب والبكتريا والمواد العالقة.
2- مرحلة التحلية الذي يتم فيه فصل الأملاح من الماء.
3- مرحلة المعالجة النهائية.



شكل رقم 13-3: مكونات وحدة تحلية مياه البحر بالتناضح العكسي.

13.4.1مرحلة المعالجة الابتدائية (الأولية)

وجدير بالذكر أن ماء التغذية المستخدم في كل تكنولوجيات التحلية يحتاج لعمليات معالجة أولية للماء لإزالة المواد العالقة (من الطمي والرمال وغيرها) وكذلك إزالة الغازات الذائبة ، والقتل والتخلص من الأحياء المائية الدقيقة (كالفطريات والبكتريا والطحالب). وتساعد عملية المعالجة الأولية لماء التغذية على المحافظة على وحدة التحلية من التآكل والصدأ و تَكَوّنْ الرواسب على أسطح الأغشية.



شكل رقم 13-4: مكونات وحدة المعالجة الأولية.

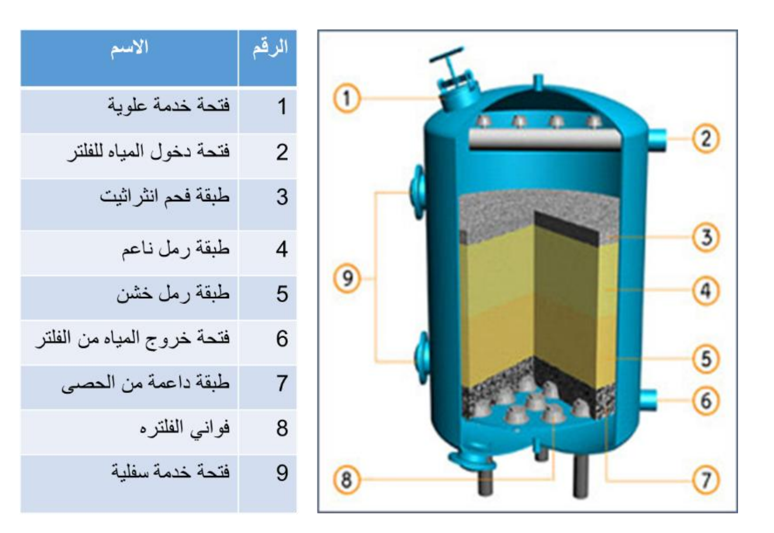
مكونات وحدة المعالجة الأولية

1- مضخة التغذية
2- الفلتر الرملي
3- الفلتر القطني
4- منظومة حقن الكيماويات (الكلور الابتدائي- المادة المروبة- مادة نزع الكلور- الحامض- مانع الترسيب) .
5- شكل رقم 13-4يوضح مكونات وحدة المعالجة الأولية.

تقوم مضخة التغذية بضخ الماء المالح من خزان تغذية المحطة أو من البحر مباشرة إلى مرحلة المعالجة الابتدائية والتي يتم فيها الآتي:

1- عند مرور الماء يضاف إليه مادة هيبوكلوريت الكالسيوم كمصدر للكلور الابتدائي وذلك للتطهير والتعقيم وقتل البكتريا وكذلك يعتبر الكلور مادة مؤكسدة تحول أكاسيد الحديد الغير مترسبة إلى أكاسيد مترسبة يمكن أن تحجز بداخل فلتر الرمل.
2- مادة الترويب تضاف إلى مياه التغذية إذا لزم الأمر لكي تساعد على تماسك المواد العالقة في المياه وكذا تسهل عملية حجز هذه العوالق في فلتر الرمل.
3- تصل المياه المالحة إلى فلتر الرمل متعدد الطبقات حيث تصل قدرة الفلترة به من 20- 50 ميكرون.

و يوجد داخل هذا الفلتر ثلاث طبقات من الحبيبات المعدنية على أعماق مختلفة و ذات حجم حبيبات مختلفة و كثافة كلية أيضاً مختلفة، وهذه الطبقات التي تسمى طبقات الترشيح من شأنها حجز المواد الصلبة المعلقة والعكارة وجزيئات الحديد من المياه، شكل رقم 13-5 يظهر مكونات الفلتر الرملي.



الرقم	الاسم
1	فتحة خدمة علوية
2	فتحة دخول المياه للفلتر
3	طبقة فحم انثراثيت
4	طبقة رمل ناعم
5	طبقة رمل خشن
6	فتحة خروج المياه من الفلتر
7	طبقة داعمة من الحصى
8	فواني الفلترة
9	فتحة خدمة سفلية

شكل رقم 13-5 : الفلتر الرملي من الداخل.

ويتكون الفلتر الرملي من:

1- فتحة الخدمة العلوية (ويتم استخدام هذه الفتحة في الكشف عن حالة طبقة الرملة السطحية للفلتر أو إضافة طبقات الترشيح الجديدة عند تغير مبديا المرشح).
2- فتحة دخول المياه للفلتر (وهى الفتحة التي يتم من خلالها دخول مياه التغذية من مضخة التغذية إلى الفلتر.
3- طبقة فحم الانثراثيت (وهى عبارة عن طبقة من حبيبات الفحم النشط ذات الوزن الجزئي الصغير والتي تساوى تقريباً وزن الرملة الناعمة ويقوم بإزالة الألوان و الطعم و الروائح غير المرغوب فيها بالإضافة إلى زيادة معدل الترشيح وتقليل الفترة الزمنية لعملية الغسيل العكسي.
4- طبقة الرملة الناعمة وهى طبقة من الرمل الناعم وتعتبر هذه الطبقة هي الطبقة الرئيسية التي يتم على سطحها عملية فصل العوالق الموجودة بالمياه.

5- طبقة ` ونقلها إلى الفلتر القطني)
6- فـواني الفلتـرة (وهـي عبـارة عـن فـواني وفتحـات يتـراوح حجمهـا مـن 0.2-0.5 ميكرون و موصلة على شبكة تجميع سفلية).
7- فتحـة الخدمـة السـفلية(وهـي فتحـة توجـد أسـفل الفلتـر الرملـي والغـرض منهـا هـي عملية إخراج المديا من الفلتر أو عمل صيانة وتغير لفوانى الفلتر).

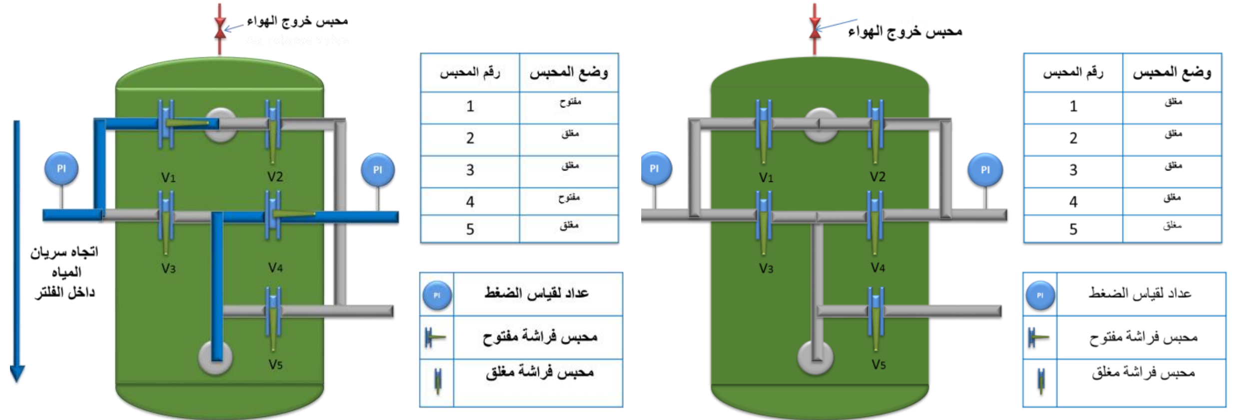
13.4.2 تكوين الفلتر الرملـي

ويتكـون الفلتـر الرملـي مـن وعـاء الضـغط المحتـوى علـى طبقـات الرمـل أو (المـديا) بالإضـافة إلـى بعـض الملحقـات مثـل محـابس التشـغيل والغسـيل العكسـي والشـطف ويكـون عـددهم فـي معظـم الأحـوال حـوالي (5) محـابس وعـدادات قيـاس ضـغط الـدخول والخـروج للمياه داخـل الفلتـر بالإضـافة إلـى محـبس خـروج الهـواء والـذي يـتم اسـتخدامه بعـد عملية الغسـيل العكسـي ويـتم فتحـه قبـل التشـغيل الطبيعـي للفلتـر لضـمان خروج الهواء من الفلتر.

13.4.3 مراحل عمل الفلتر الرملي

يوجـد العديـد مـن مراحـل العمـل الخاصـة بـالفلتر الرملـي، شـكل رقـم 13-6 يوضـح وضـع المحـابس أثنـاء توقـف الفلتـر عـن العمـل، و تنقسـم مراحـل عمـل الفلتـر إلـى المراحل الآتية:

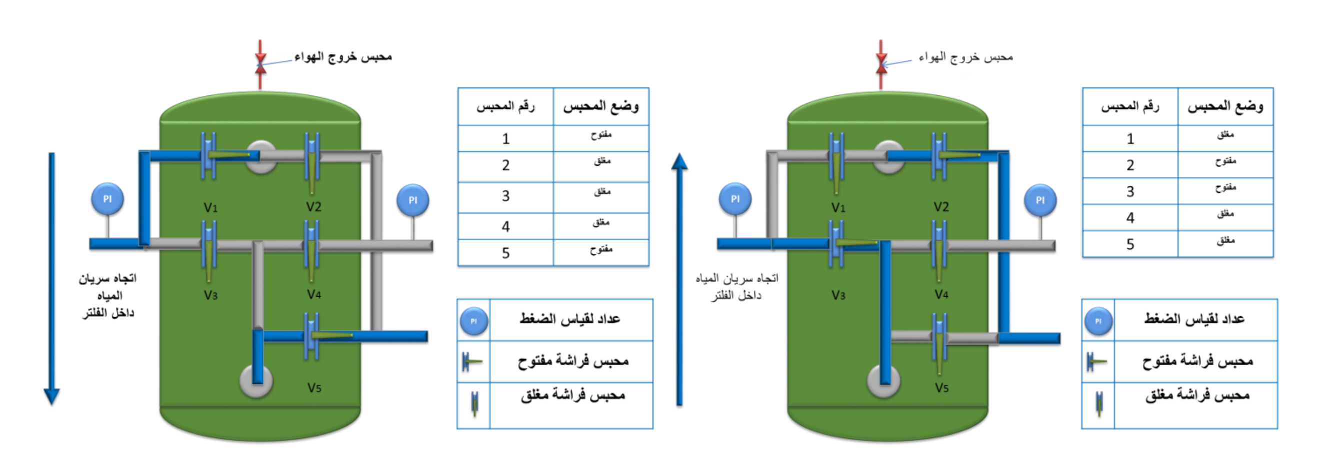
1- التشـغيل الطبيعـي، شـكل رقـم 13-7 يوضـح وضـع المحـابس أثنـاء التشـغيل الطبيعـي، ويعتبـر هـذا الوضـع هـو وضـع التشـغيل الطبيعـي للفلتـر الرملـي حيـث يـتم فـتح المحـبس رقـم (1) ورقـم(4) ليمـر المـاء مـن فتحـة الـدخول العلوية عنـد المحـبس رقـم (1) ليمـر المـاء عبـر طبقـات الرمـل ليـتم ترشـيحه حتـى 50 ميكـرون ثـم يخـرج الماء المرشح من فتحة الخروج عند المحبس رقم (4).
2- الغسـيل العكسـي، شـكل رقـم 13-8 يوضـح وضـع المحـابس أثنـاء الغسـيل العكسـي، ويعتبـر هـذا الوضـع هـو وضـع الغسـيل العكسـي للفلتـر الرملـي حيـث يـتم اللجـوء إليـه عنـدما يصـل فـرق الضـغط بـين دخـول الميـاه وخروجهـا إلـى 1 بـار ويـتم قيـاس ذلـك مـن خـلال محـابس قيـاس الضـغط الموضـوعة علـى فتحـات الـدخول والخـروج للفلتـر وعنـدها يـتم فـتح المحـبس رقـم (2) ورقـم (3) وإغـلاق بـاقي المحـابس ليمـر المـاء مـن فتحـة الخـروج السـفلية عنـد المحـبس رقـم (3) ليمـر المـاء مـن أسـفل إلـى أعلـى عبـر طبقـات الرمـل ليـتم غسـلها وفـى معظـم الأحـوال يـتم دفـع هـواء مضـغوط مـع مـاء الغسـيل لإسـراع وتسـهيل عملية الغسـيل وفصـل الشـوائب المعلقـة بحبيبـات الرمـل ثـم يخـرج مـاء الغسـيل محمـلاً بالشـوائب الموجـودة داخـل الفلتـر مـن فتحـة الغسـيل عنـد المحبس رقم (2).



شكل رقم 13-6 : وضع المحابس للفلتر الرملي أثناء توقف الفلتر.

شكل رقم 13-7 : وضع المحابس للفلتر الرملي أثناء التشغيل.

3- الشطف، شكل رقم 13-9 يوضح وضع المحابس أثناء الشطف، ويعتبر هذا الوضع هو وضع الشطف للفلتر الرملي حيث يتم اللجوء إليه بعد عملية الغسيل العكسي للفلتر لضمان عودة محتويات الفلتر إلى موضعها داخل الفلتر تبعاً لوزنها الجزئي وعندها يتم فتح المحبس رقم (1) ورقم(5) وإغلاق باقي المحابس ليمر الماء من فتحة الدخول العلوية عند المحبس رقم (1) ليمر الماء من أعلى إلى أسفل عبر طبقات الرمل ليتم شطفها واستقرار حبيبات المديا في موضعها الصحيح تبعاً لوزنها الجزئي.



شكل رقم 13-8: وضع المحابس للفلتر الرملي أثناء الغسيل العكسي.

شكل رقم 13-9 : وضع المحابس للفلتر الرملي أثناء الشطف.

13.4.4 نظام حقن كيماويات المعالجة الأولية

تقوم مضخة التغذية بضخ الماء المالح من خزان تغذية المحطة أو من البحر مباشرة إلى مرحلة المعالجة الابتدائية والتي يتم فيها الآتي:

1- يتم إضافة مادة هيبوكلوريت الكالسيوم إلى مياه التغذية كمصدر للكلور الابتدائي وذلك للتطهير والتعقيم وقتل البكتريا وكذلك يعتبر الكلور مادة مؤكسدة تحول أكاسيد الحديد الغير مترسبة إلى أكاسيد مترسبة يمكن أن تحجز بداخل فلتر الرمل

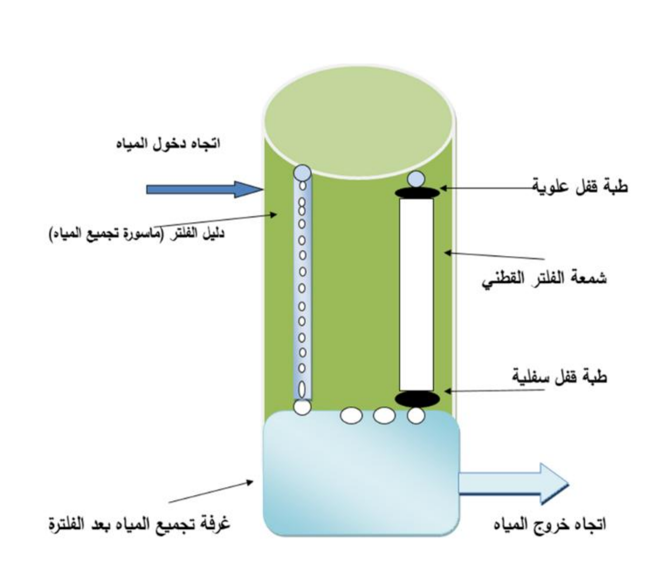
2- يتم إضافة المادة المروية إلى مياه التغذية إذا لزم الأمر لكي تساعد على تماسك المواد العالقة في المياه وكذا تسهل عملية حجز هذه العوالق في فلتر الرمل .

3- يتم إضافة مادة الصوديوم ميتا بيسلفيت إلى الماء لنزع الكلور المتبقي في الماء قبل الدخول على الأغشية حتى لا يحدث تأكل للأغشية حيث يعتبر الكلور عامل مؤكسد قوى للمادة التي يصنع منها الغشاء أو يمكن استعمال فلتر الكربون النشط لامتصاص الباقي من الكلور قبل دخوله إلى الغشاء .

4- ثم يتم إضافة الحامض ومانع الترسيب للقشور الذي يمنع ترسيب الأملاح داخل الأغشية

13.4.5 فلاتر التنقية الدقيقة

ثم يمر الماء على فلاتر التنقية الدقيقة التي تنقي المياه حتى 5 ميكرون، و يتكون الفلتر القطني من وعاء مصنوع من SS أو من PVC أو من مواد آخرى مقسم من الداخل إلى غرفتين أحدهما علوية وهي التي يوجد بها الشمعات القطنية وأخرى سفلية وهي الغرفة التي يتم فيها تجميع المياه المرشحة عبر دليل الشمعات القطنية ويركب الدليل من ماسورة مجوفة مصنوع من SS أو من PVC مثقبه ومفتوحة من أسفل ومصمطه من أعلى حيث يتم ترشيح المياه عبر طبقات الفلتر لتمر عبر ثقوب الدليل ومنه إلى غرفة التجميع السفلية التي تنقلها إلى ماسورة الدخول إلى مضخة الضغط العالي بالإضافة إلى عدادات قياس ضغط الدخول والخروج للمياه والتي تقوم بقياس فرق الضغط داخل الفلتر ليتم تغيير شمعات الفلتر عندما يصل فرق الضغط داخل الفلتر إلى 1 بار بالإضافة إلى محبس خروج الهواء والذي يتم استخدامه لخروج الهواء من الفلتر بعد تغير الشمعات بالإضافة إلى فتحة صرف

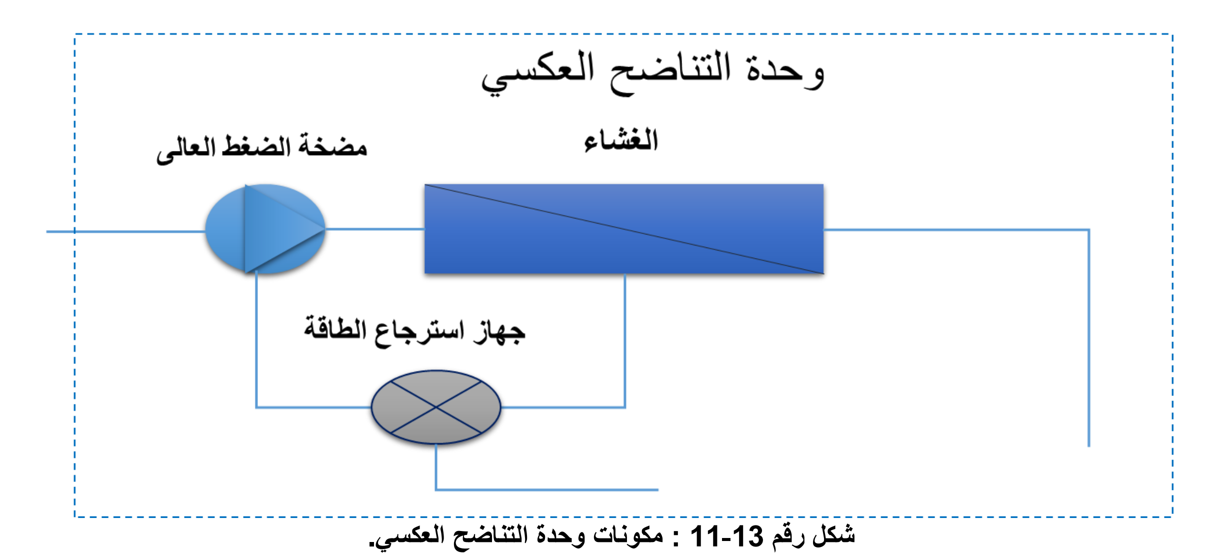


شكل رقم 13-10 : شكل لفلتر التنقية الدقيقة من الداخل.

الغسيل السفلية، شكل رقم 13-10 يوضح شكل فلتر التنقية الدقيقة من الداخل، ثم بعد ذلك تمر المياه إلى مضخة الضغط العالي التي تعمل على رفع الضغط حتى تتم عملية التحلية.

13.5 وحدة التناضح العكسي

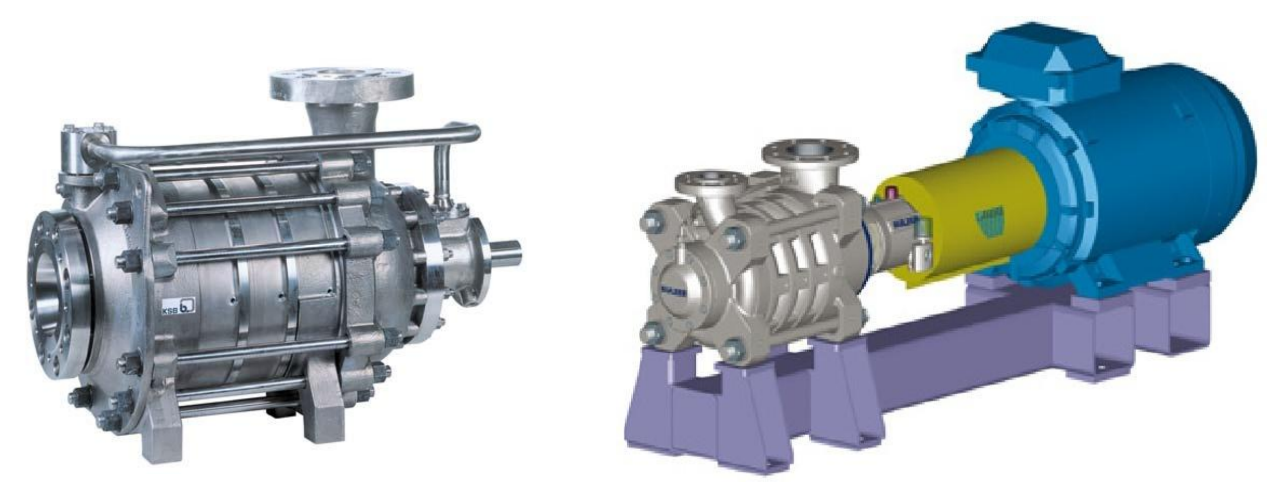
تتكون وحدة التناضح العكسي من مضخة الضغط العالي و أوعية الضغط و أغشية التحليه و نظام توفير الطاقة الكهربائية طبقاً لما هو موضح شكل رقم 13-11.



شكل رقم 13-11 : مكونات وحدة التناضح العكسي.

13.5.1مضخة الضغط العالي

وهي عبارة عن مضخة تتكون من عدة مراحل من المراوح الداخلية والتي تقوم برفع قيمة الضغط من2 بار إلى 65 بار وهو الضغط المناسب لعملية استخلاص الأملاح داخل الأغشية, شكل رقم 13-12 يوضح شكل مضخة الضغط العالي.



شكل رقم 13-12 : مضخة الضغط العالي.

13.5.2أوعية الضغط

وهو عبارة عن وعاء مجوف يحتوى بداخله على أغشية استخلاص الأملاح , وهو مصنوع من مادة الألياف الزجاجية المقواه والتي تستطيع أن تتحمل ضغط حتى 80 بار.

ويتم اتصاله بماسورة المياه المالحة الخارجة من مضخة الضغط العالى والمصنوعة من الاستلس بطريقتين هما :

إما الاتصال الطرفي من ناحية الرأس.

أو الاتصال الجانبي.

شكل رقم 13-13 و شكل رقم 13-14يوضح شكل الإتصال لأوعية الضغط.



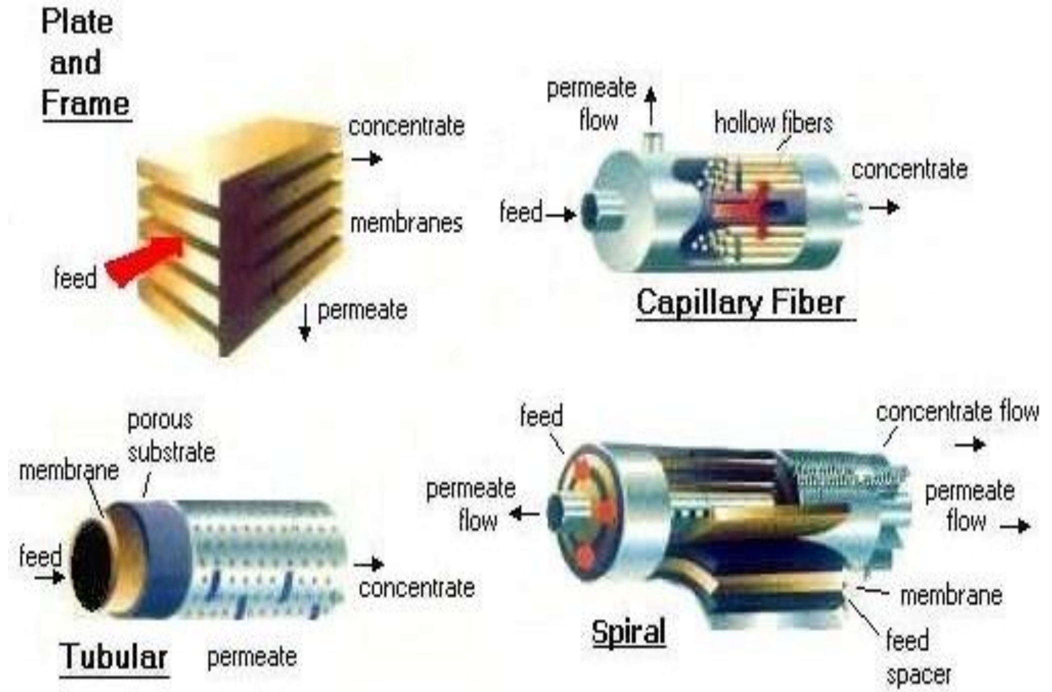
شكل رقم 13-13 : توصيل أوعية الضغط من الأمام.



شكل رقم 13-14 : توصيل أوعية الضغط من الجانب.

13.5.3الغشـاء

والأغشـية عبـارة عـن مـواد طبيعيـة أو صـناعية شـبه نفـاذة أي تسـمح بمـرور المـاء فقـط دون الأمـلاح . وتتكـون أغشـية التناضـح العكسـي مـن مـواد خاصـة (مثـل أسـيتات السـيليوز) أو البـولي أميـد ، أمـا علـي شـكل شـعيرات (خيـوط) مجوفـة مثـل خيـوط شـعر الـرأس تقريبـاً ملفوفـة علـي شـكل حـرف U ، أو علـي شـكل ألـواح حلزونيـة ملفوفـة . وتعمـل الأغشـية بمـا يسـمي بنظريـة السـريان بالامتصـاص الانتقـائي – بالخاصـية الشـعرية . أي أن طبيعـة الغشـاء تسـمح بامتصـاص المـاء فقـط (ورفـض امتصـاص الأمـلاح) . وتعتمـد قـدرة الغشـاء علـي فصـل الأمـلاح علـي قطـر المسـام التـي مـن خلالهـا يمـر المـاء الممـتص، و يـتم تصـنيع الأغشـية علـى عـدة أشـكال كمـا هـو موضح شكل رقم 13-15.

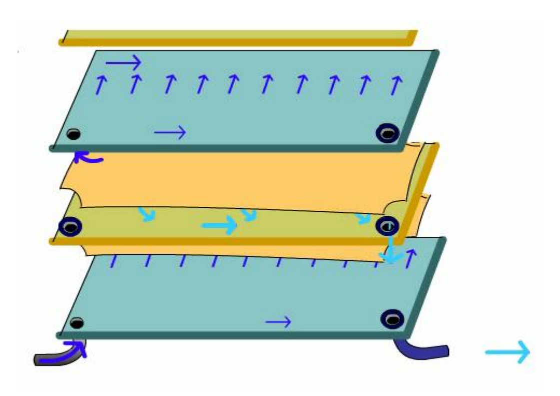


شكل رقم 13-15 : أشكال تصنيع أغشية التناضح العكسي.

أنواع الاغشية المستخدمة فى تحلية مياه البحر

أغشـية الصـفائح المركبـة (Plate and frame)

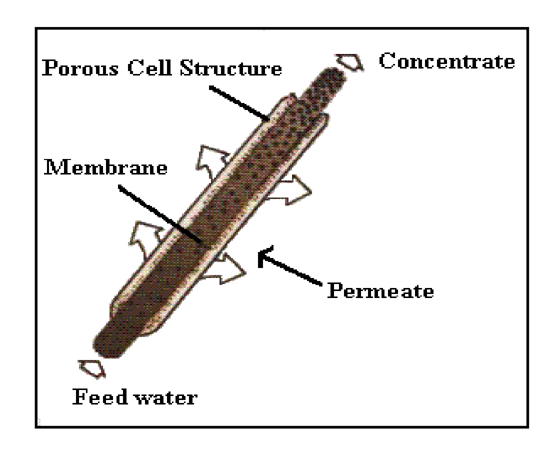
وهــى نــوع تتركــب مــن مجموعــة مــن الاغشــية علــى شــكل صــفائح المركبــة وفــى هــذا النــوع مــن الاغشــية يــتم دخــول مــاء البحـر مـن فتحـة أسـفل الصـفائح ليمـر المـاء الالــى مــن المــلاح مــن خــلال طبقــا ت الصــفائح تاركــاً المــلاح علــى ســطح الصــفائح كمــا هــو موضــح شــكل رقــم 13-16.



شكل رقم 13-16 : شكال أغشية الصفائح المركبة.

الشعيرات الدقيقة المجوفة (Hollow fine fiber)

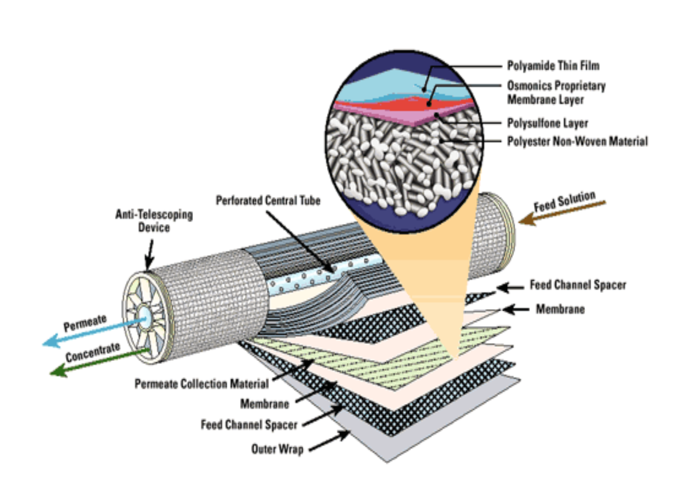
وهي عبارة عن شعيرات دقيقة (خيوط) مجوفة مثل خيوط شعر الرأس تقريباً حيث يمر الماء من قلب الشعيرة تاركاً الماء الأكثر تركيزاً من القلب والماء الأقل تركيزاً يمر إلى الخارج من سطحها الخارجي كما هو موضح شكل رقم 13-17.



شكل رقم 13-17 : شكال أغشية الشعيرات الدقيقة المجوفة.

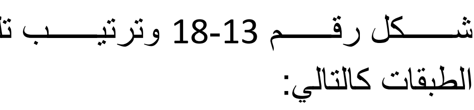
أغشية اللوح الحلزوني :(Spiral wound)

وهو عبارة عن جزء اسطواني طوله متر وقطره 8 بوصة ويحتوى بداخله على عدد من الطبقات التشريحية (16:14 طبقة) يتم خلالها عملية فصل الأملاح واستخلاص الماء العذب من ماء البحر.



شكل رقم 13-18 : شكال أغشية اللوح الحلزوني.

وتتكون كل طبقة من تلك الطبقات من ثلاث طبقات داخليه ملفوفة في شكل حلزوني حول ماسورة تجميع بمنتصف الغشاء طبقاً لما هو موضح



شكل رقم 13-18 وترتيب تلك الطبقات كالتالي:

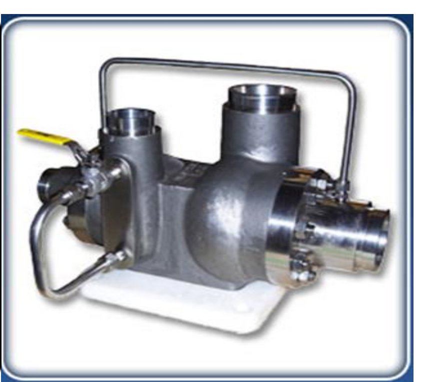
1- طبقة الشبكية الحاملة للمياه المالحة.
2- طبقة الغشاء الشبه منفذة والمصنوعة من مادة البولي أميد والتي تسمح بمرور الماء العذب وتفصل الملح إلى الخارج.
3- طبقة الشبكية الحاملة للماء العذب والتي يتم من خلالها نقل الماء إلى ماسورة تجميع الماء العذب الموجودة منتصف الغشاء.

موفر الطاقة (جهاز استرجاع الطاقة) :

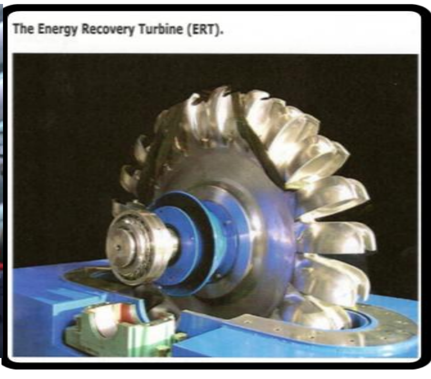
وهو عبارة عن جهاز ميكانيكي يقوم بالإستفادة من ضغط خروج الأغشية والذي يتراوح بين 60 إلى 63 بار في عملية رفع قيمة ضغط مياه دخول الأغشية وتقليل

ضــغط مضــخة الضــغط العــالي إلــى 45 بــار وبالتــالي تــوفير الطاقــة المســتهلكة مــن محــرك المضــخة لرفــع قيمــة الضــغط إلــى حــدود 65 بــار وهــو ضــغط دخــول الأغشــية وأيضاً تقليل حجم المضخة اللازمة للوصول لتلك القيمة (65 بار).

وأجهزة استرجاع الطاقة هذه أجهزة ميكانيكية وتتكون عموماً من توربينان من النوع الذي بوسعه تحويل ضغط الخروج للمياه المرتجعة (المياه المركزة) من وحدة التحلية إلى طاقة حركية، شكل رقم 13-19 يوضح بعض أنواع أجهزة تزفير الطاقة.



شكل (أ) : الشاحن التربيني.



شكل (أ) : التربينة.



شكل (ج) : مبادل الضغط.

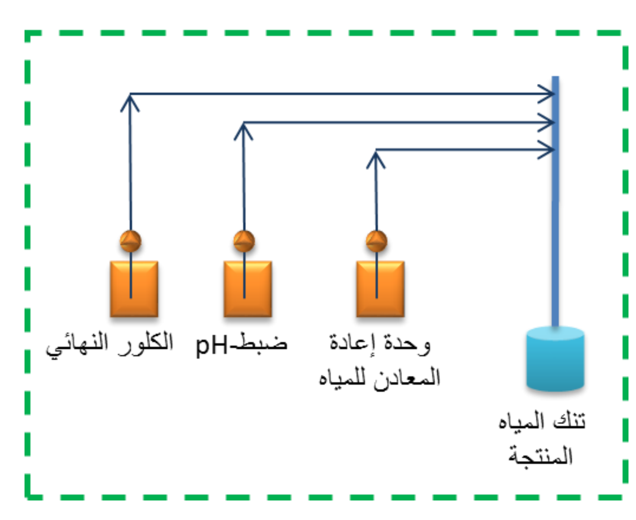
شكل رقم 13-19 : أشكال أجهزة توفير الطاقة.

13.6 مرحلة المعالجة النهائية

حقن كيماويات المعالجة النهائية

وهـى عمليـة إضـافة مـواد كيماويـة إلـى الميـاه المنتجـة بهـدف تحسـين جـودة الميـاه ومطابقتهـا لمواصـفات ميـاه الشـرب تبعـاً لاشـتراطات وزارة الصـحة لمواصـفات ميـاه الشـرب طبقـاً لمـا هـو موضـح شـكل رقـم 13-20وهى تتضمن الأتي :

1- عمليــة حقــن مــادة كربونــات الصــوديوم الغذائيــة إلــى الميــاه المنتجــة بهــدف رفــع قيمــةpH للميــاه مــن الحامضــى pH (6-6.5) إلى المتعادل pH (7.5-8.5).

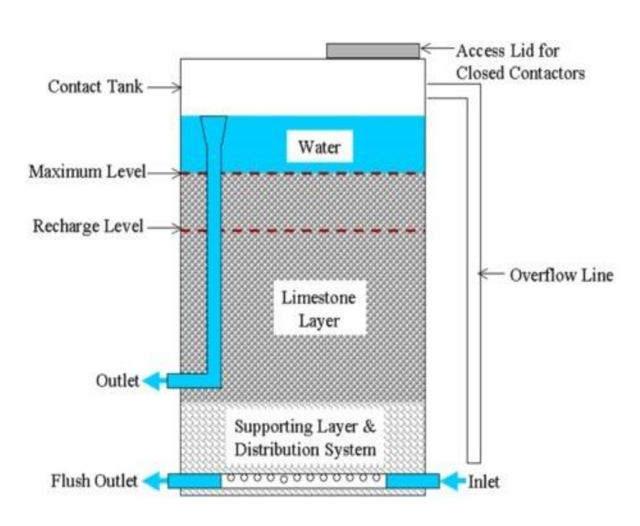


شكل رقم 13-20 : مكونات مرحلة المعالجة النهائية.

2- عمليـــة التعقـــيم للميـــاه المنتجـــة وهـــى عمليـــة إضـــافة الكلـــور إلـــى الميـــاه المنتجـــة بهـــدف تعقـــيم الميـــاه داخـــل خطـــوط النقـــل والخزانـــات حتـــى تصـــل الميـــاه إلـــى المســـتهلك خاليـــة من الكائنات الميكروبية الدقيقة (البكتيريا والفيروسات).

أهم الأنظمة المستحدثة لمرحلة المعالجة النهائية

ونظـــراً لأن الميـــاه المحـــلاة المنتجـــة مـــن محطـــــات التحليـــــة بنظـــــام الضـــــغط الإســـموزى العكســـي تتصـــف بأنهـــا ميـــاه منخفضـــــة الملوحـــــة (وشـــــديدة اليســـــر) ممـــــا يجعلهـــــا شـــــديدة الشـــــراهة لإذابـــــة الأمـــــلاح والتفاعـــــل مـــــع المعـــــادن وهـــــذا يـــــؤثر علـــــي تآكـــــل الخزانـــــات وخطـــــوط الميـــــاه وشـــــبكات التوزيـــــع المعدنيـــــة ممـــــا يـــــودى إلـــــى ظـــــاهرة الميـــــاه الصـــــفراء عنـــــد فـــــتح صـــــنبور الميـــــاه لـــــذلك يـــــتم إضـــــافة أمـــــلاح الكالســـــيوم التـــــي تعيـــــد للميـــــاه المعـــــادن التـــــي تـــــؤدي إلـــــى توازنهـــــا الأيـــونى والمعـــدني لتكـــون الميـــاه فـــي نهايـــة عمليـــة الإنتـــاج صـــالحة للشـــرب وأمـــان مـــن الناحيــــة الكيميائيــــة والبيولوجيــــة وطبقــــاً لمواصــــفات ميــــاه الشــــرب التــــي تحــــددها وزارة الصـــحة لكـــل دولـــة ومنظمـــة الصـــحة العالميـــة، شـــكل رقـــم 13-21 يوضـــح نظـــام مبـــادل الكالسيت.



شكل رقم 13-21 : نظام مبادل الكالسيت .

أجهزة القياس والتحكم الموجودة داخل محطة التحلية

يتم وضع مجموعة أجهزة قياس وحساسات ومحابس في مسار خطوط سحب والطرد لمضخة الضغط العالي والأغشية

جهاز قياس تصرف لمياه التغذية

يقوم بقياس كمية مياه التغذية قبل الدخول على مضخة الضغط العالي وتسجيل قيمتها كما هو موضح شكل رقم 13-22.



شكل رقم 13-22 : قياس تصرف لمياه التغذية.

جهاز قياس ملوحة مياه التغذية

يقوم بقياس ملوحة مياه التغذية قبل الدخول على مضخة الضغط العالي وإيقاف المحطة تلقائيا في حالة وصول ملوحة مياه التغذية إلى أكثر من القيمة المسموح بها كما هو موضح بالشكل رقم 13-23



شكل رقم 13-23 : جهاز قياس ملوحة مياه التغذية .

حساس حرارة

لقياس درجة حرارة المياه الداخلة إلى أغشية التحلية وفى حالة وصول درجة الحرارة إلى 40 م يقوم الحساس بإرسال إشارة إلى جهاز التحكم ليقوم بدوره بإعطاء أمر بإيقاف المحطة وذلك لحماية أغشية التحلية من التأثير الضار لارتفاع درجة الحرارة كما هو موضح بالشكل رقم 13-24.



شكل رقم 13-24 حساس الحرارة.

حساس ORP

قياس نسبة الكلور المتبقي بعد حقن مادة الصوديوم ميت بيسلفيت (SMS) بواسطة جهاز ORP للتأكد من أن نسبته تساوى صفر وفى وجود كلور متبقي يقوم الجهاز بإرسال إشارة إلى وحدة التحكم للمحطة بتوقف المحطة لمنع وصول الكلور إلى الأغشية حتى لا يحدث تأكل لها.

جهاز قياس ضغط السحب

يقوم بقياس الضغط بخط السحب لمضخة الضغط العالي ليقوم بحمايتها في حالة انخفاض الضغط في الخط عن 1.5 ضغط جوى يقوم الحساس بإرسال إشارة إلى جهاز التحكم بإيقاف المحطة وفى حالة بدأ التشغيل يقوم بحماية المضخة وذلك بعد السماح بتشغيل المضخة إلا في حالة وصول الضغط إلى 1.5 بار . كما هو موضح شكل رقم 13-25.

جهاز قياس ضغط الطرد

يقوم بقياس الضغط في خط طرد المضخة وذلك لحماية أغشية التحلية من ارتفاع الضغط المسموح به وفى حالة زيادة الضغط في الخط عن 75 ضغط جوى يقوم بإرسال إشارة إلى جهاز التحكم بإيقاف المحطة حتى لا يحدث تأثير سلبي على الأغشية نتيجة لزيادة الضغط



شكل رقم 13-25جهاز قياس ضغط السحب.

حساس فرق ضغط بين الدخول والخروج

يقومان بقياس الضغط في خط التغذية وخط المياه المركزة ويتم إرسال قيمتها إلى جهاز التحكم الذي يقوم بدوره بقياس الضغط بين الحساسين ويعتبر الفرق في الضغط بين الدخول والخروج هو العامل الذي يحدد مدى كفاءة الأغشية

وفي حالة زيادة فرق الضغط عن 5-6 ضغط جوى يقوم جهاز التحكم بإيقاف المحطة وإعطاء رسالة لعامل التشغيل بضرورة عمل غسيل كيميائي لأغشية التحلية لاستعادة كفاءتها

محبس السحب

يتم التحكم من خلاله في عملية الشطف للاغشية فيقوم بالغلق في حالة الشطف وبالفتح فى حالة التشغيل العادى للمحطة

محبس المياه المركزة

فـــى حالـــة عـــدم وجـــود منظومـــة تـــوفير الطاقـــة مثـــل (التربـــو تشـــارج او التربينـــة او PX),حيـــث يـــتم مـــن خـــلال الـــتحكم فـــى ضـــغط التشـــغيل وذلـــك بـــالغلق أو الفتـــح لمحـــبس تـــدريجيا حتـــى يـــتم الوصـــول إلـــى ضـــغط التشـــغيل المطلـــوب، شـــكل رقـــم 13-28 و شـــكل رقـــم 13-29 يوضـــحان وحـــدة التحليـــة بإســـتخدام نظـــام تـــوفير الطاقـــة وبـــدون إســـتخدام نظام توفير الطاقة.

محبس التحكم فى مسار المياه المنتجة بعد أغشية التحلية

يقـــوم بالتحكـــم فـــي مســـار الميـــاه المنتجـــة فـــي حالـــة التشـــغيل العـــادي وفـــى حالـــة الغســـيل الكيميائى.

المحبس الثلاثي الأوجه

هـــو محـــبس يتحكـــم فـــى اتجـــاه ســـير الميـــاه المركـــزة فـــى حالـــة التشغيـــل العـــادى أو فـــى حالة الغسيل الكيميائى

جهاز قياس تصرف المياه المركزة

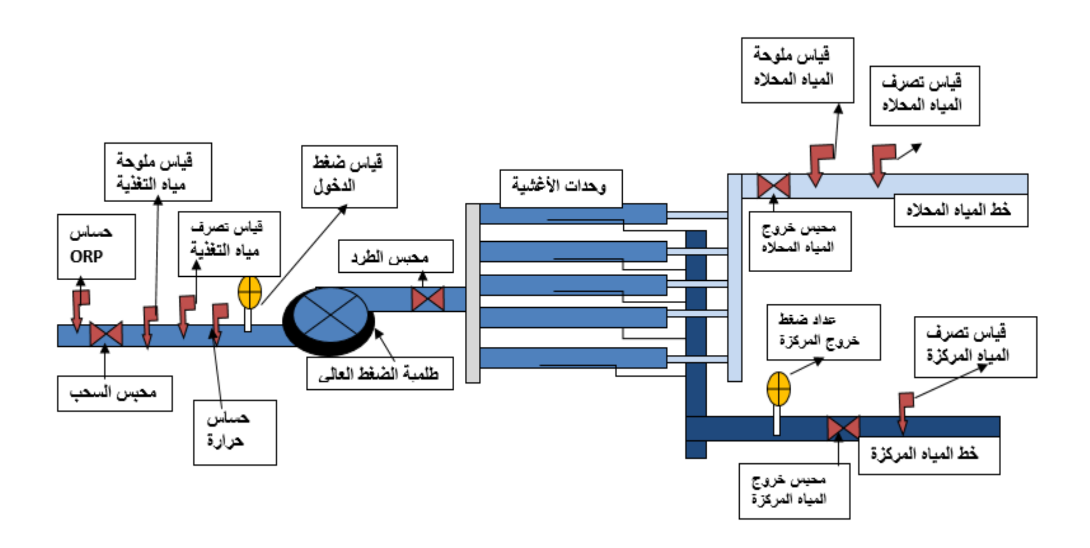
يقوم بقياس كمية المياه المركزة وتسجيل قيمتها

جهاز قياس تصرف المياه المنتجة

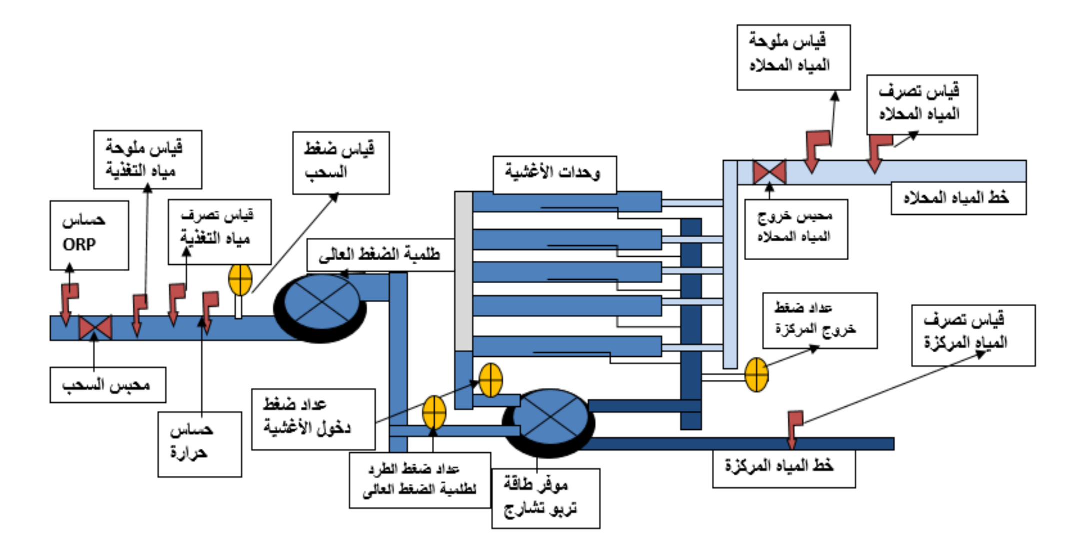
يقوم بقياس كمية المياه المنتجة وتسجيل قيمتها

جهاز قياس ملوحة المياه المنتجة

يقـــوم بقيـــاس ملوحـــة الميـــاه المنتجـــة وإيقـــاف المحطـــة تلقائيـــا فـــى حالـــة وصـــول ملوحـــة المياه المنتجة إلى أكثر من القيمة المسموح بها.



شكل رقم 13-26 شكل تخطيطي لمرحلة RO تعمل بدون موفر طاقة موضح عليها اجهزة وعدادات القياس



شكل رقم 13-27 شكل تخطيطي لمرحلة RO تعمل باستخدام موفر طاقة من نوع التربو تشارج موضح عليها أجهزة القياس.

غرفة التحكم الرئيسية

وهـــى عبـــارة عـــن غرفـــة تحتـــوى علـــى جميـــع أجهـــزة الـــتحكم والتشـــغيل (مفـــاتيح التشـــغيل والإيقـــاف – أجهـــزة القيـــاس للضـــغوط والمناســـيب والأمـــلاح وPH) للمعـــدات والأجهـزة المسـتخدمة فـي المحطـة ويـتم توصـيلها بجهـاز حاسـب الالـى ليـتم الـتحكم فـى المحطـة مـن خـلال الحاسـب الالـى. كمـا هـو موضـح شـكل رقـم 13-28و شـكل رقـم 13-29.



شكل رقم 13-28غرفة التحكم (أ)



شكل رقم 13-29 غرفةالتحكم (ب)

14 تعليمات التشغيل والصيانة لمحطات تحلية مياه البحر بنظام التناضح العكسي

14.1 أنواع المياه على حسب نسبة الملوحة

ينقسم الماء علي الأرض حسب ملوحته إلى قسمين أساسيين , هما الماء العذب والماء المالح، الماء العذب تتراوح نسبة الملوحة فيه من صفر (الماء المقطر) وحتى 1000 جزء في المليون. والماء المالح إما أن يكون ماء الآبار متوسطة الملوحة , أو ماء البحار شديدة الملوحة . أما مياه الآبار منخفضة الملوحة فتتراوح نسبة الملوحة فيه من 1000 وحتى 5000 جزء في المليون، بينما ماء الآبار مرتفع الملوحة فتتراوح نسبة الملوحة فيه من 5000 إلى 10000 جزء في المليون بينما تتراوح نسبة الملوحة في ماء البحر من30000 وحتى 100000 جزء في المليون , حيث تزداد الملوحة في الخلجان والبحار الميتة (حيث لا روافد للأنهار والأمطار).

أما مياه البحر المتوسط فتتراوح نسبة الملوحة فيه من 33000 وحتى 37000 جزء في المليون

أما مياه البحر الأحمر فتتراوح نسبة الملوحة فيه من 40000 وحتى 45000 جزء في المليون

أما مياه الخليج العربي فتتراوح نسبة الملوحة فيه من 50000 وحتى 55000 جزء في المليون

أما مياه البحر الميت فتتراوح نسبة الملوحة فيه من 65000 وحتى 75000 جزء في المليون

14.2 خصائص المياه

تنقسم خصائص المياه إلي:

- خصائص طبيعية : وتشمل درجة الحرارة، والعكارة، واللون، والطعم، والرائحة.
- خصائص كيماوية : وتشمل الرقم الهيدروجيني(pH) والعسر الكلى (Total HARDNESS) والأكسجين الذائب - الأملاح الذائبة الكلية (T.D.S).
- خصائص بيولوجية : وتشمل جميع أشكال الحياة التي يحتويها الماء مثل البكتريا والفيروسات والطحالب.

14.3 الخصائص الطبيعية للمياه

1- درجة الحرارة :

وهي تؤثر علي عمليات التنقية ، حيث تساعد علي سرعة ذوبان الكيماويات المضافة وسرعة ترسيب الجسيمات الدقيقة.

2- العكارة :

قد تكون العكارة مواد عضوية مثل الطحالب، التي تسبب مشاكل كبيرة ما لم تعالج كيماوياً لوقف تكاثرها.وقد تكون العكارة مواد غير عضوية مثل الطمي والرمال، وقد تصل إلى عدة

آلاف من الأجزاء في المليون في المياه السطحية، و تكون أقل كثيرا في المياه الجوفية نظرا لأن الأخيرة تعرضت للترشيح أثناء مرورها في طبقات التربة.

وقد تكون العكارة مواد غروية، وتندرج تحت هذا الاسم المواد الصغيرة الحجم جداً التي لا يمكن رؤيتها بالميكروسكوب العادي. وتوجد هذه المواد في حالة متوسطة بين التعلق والذوبان، ولكن يمكن تنقيتها بالترشيح.

3- اللون :

يتلون الماء في المياه السطحية نتيجة تحلل المواد العضوية أو وجود مواد غير عضوية مثل الحديد و المنجنيز.

ويعتبر تلون الماء من أكثر الدلالات على عدم صلاحيته للاستعمال الآدمي ومعظم الاستخدامات الصناعية.

4- الطعم :

يكون الماء في بعض الأحيان ذو طعم غير مستساغ نتيجة لاحتوائه علي الطحالب والمواد العضوية أو لاختلاطه بمياه الصرف أو المخلفات الصناعية قبل التنقية.

5- الرائحة :

عادة ما يرتبط وجود طعم غير مستساغ بوجود رائحة غير مستحبة في نفس الوقت.

14.4 الخصائص الكيميائية للمياه

1- الرقم الهيدروجيني pH

ويرمز له بالرمز pH ، وهو يعبر عن درجة ميل المادة (المياه) إلي الحمضية أو القلوية إن لم تكن متعادلة، وهو مقسم من الصفر إلى 14.

والرقم 7 يدل على التعادل وهو الرقم الهيدروجين للمياه النقية.

وإذا قل عن 7 دل ذلك على حمضية المياه، والمياه الحمضية تسبب تآكل للأسطح الحاوية لها

وإذا زاد عن 7 دل على قلويتها. ،و المياه القلوية ترسب قشوراً على تلك الأسطح.

2- العسر: (Total HARDNESS)

وينشأ عن وجود أملاح الكالسيوم والماغنسيوم الذائبة في المياه، وينتج عن العسر زيادة الرقم الهيدروجيني للماء وترسيب قشور على الأسطح، بالإضافة إلى إكساب الماء طعما غير مستساغ ويصعب مع الماء العسر استخدام الصابون.

3- الأكسجين الذائب

يتواجد الأكسجين ذائبا في المياه بصفة دائمة، وتزيد نسبته في المياه الباردة عنها في المياه الساخنة. ويؤدى وجود الطحالب في المياه إلى إنتاج الأكسجين نهارا فتزيد نسبته بالنهار، بينما تسلكه ليلا فتقل نسبته بالليل.وتؤدى زيادة نسبة الأكسجين الذائب في الماء إلى تأكل السطوح المعدنية الملامسة له.

4- الأملاح الذائبة الكلية (T.D.S)

تمثل أملاح كلوريد الصوديوم الذائبة في الماء من 85٪ إلى 90٪ من مجموع الأملاح الذائبة وتصل كميتها فى المياه الطبيعية إلى 500 جزء في المليون أو أكثر.وتحتوى على نسبة من أملاح الصوديوم. وهنك حد أقصى للمواد الصلبة الذائبة فى الماء وهو1000 جزء في المليون حتى لا تسبب للمستهلكين مشاكل صحية أو تكسب الماء طعماً ورائحة غير مقبولين علاوة على أن بعض المواد الذائبة ضارة بصحة الإنسان، لذلك من الضروري إعطاء عناية خاصة للتخلص منها أثناء عمليات التنقية .

14.5 الخصائص البيولوجية للمياه

هي عبارة عن ما تحويه المياه من بكتريا وفيروسات ضارة بصحة المستهلكين. ويؤدي الكشف عن هذه البكتريا والفيروسات إلى وضع النظم السليمة للتنقية والتعقيم بما يكفل قتل هذه الكائنات المسببة للأمراض.

15تعليمات تشغيل محطة التحلية بنظام التناضح العكسي

15.1 تعليمات ما قبل التشغيل

يجب مراعاة التعليمات الآتية قبل البدا في تشغيل محطة التحلية (قبل تشغيل مضخات التغذية والضغط العالي والمياه المنتجة والكيماويات)

1- التأكد من ملئ خزان المياه المالحة الخاص بتغذية المحطة
2- التأكد من فتح محابس السحب والطرد لمضخة التغذية
3- التأكد من فتح محابس السحب والطرد لمضخة الضغط العالي
4- في حالة عدم وجود منظومة توفير الطاقة مثل (التربو تشارج أو التربينة أوPX) يتم التأكد من فتح محبس المياه المركزة على أخره قبل التشغيل
5- التأكد من أن جميع محابس الفلاتر الرملية والقطنية في وضع التشغيل الطبيعي
6- التأكد من ملى جميع خزانات الكيماويات بالتركيزات المطلوبة لكل مادة وجميع مضخات الكيماويات في وضع التشغيل الطبيعي وعند معدل الحقن المطلوب لكل مادة كيماوية
7- التأكد من فتح محبس مضخة المياه المنتجة

8- التأكد من وصول الكهرباء للوحة التشغيل عن طريق عداد الفولت ومن فصل جميع مفاتيح اللوحة قبل توصيل اللوحة الرئيسية
9- التأكد من عدم وجود أية سلوك عارية أو غير مربوطة جيدا

15.2 تعليمات بدأ التشغيل لمحطة التحلية بنظام التناضح العكسي

بعد توصيل سكينة الكهرباء الخاصة بلوحة التشغيل الرئيسية للمحطة وبعد التأكد من ملى خزان المياه المالحة (خزان التغذية) يتم إتباع الاتى:

15.2.1 التشغيل اليدوي لمضخة التغذية

1- فتح محابس السحب والطرد لمضخة التغذية
2- فتح محبس اخذ الهواء الخاص بالمضخة من فتحة عند خط الطرد للمضخة والتأكد من عدم وجود هواء في مسار خط السحب للمضخة حتى لا يودى إلى حدوث ظاهرة التكهف للمضخة.

شكل رقم 15-1 : محابس مضخة التغذية.

3- يتم تشغيل المضخة من خلال مفتاح الكهرباء الموجود بلوحة التشغيل

15.2.2 التشغيل الالى لمضخة التغذية

1- يتم التحكم فى مضخات التغذية بالتبادل طبقا للحاجة وذلك عن طريق وضع حساس ضغط PS علـى خط الطرد ففى حالة زيادة الضغط فـى خط المياه عن 6 ضغط جوى يقـوم حساس الضغط بإرسـال إشـارة إلـى جهاز التحكم الذى يقوم بدوره بإيقاف المحطـة وذلك لحماية الخط من الانفجار.
2- يتـم وضـع جهـاز قيـاس Flow meter (FSF) وذلـك لقيــاس كميـة الميـاه المتدفقة وتسجيلها بسجل الجهـاز لحين الحاجة إليها والاستفـادة منها فى ضبط قيمة تصرف مضخات الحقن الكيميائي.

15.2.3 تشغيل نظام حقن كيماويات المعالجة الأولية

تقوم مضخة التغذية بضخ الماء المالح من خزان تغذية المحطة أو من البحر مباشرة إلى مرحلة المعالجة الابتدائية والتي يتم فيها الآتي:

1- يتم إضافة مادة هيبوكلوريت الكالسيوم إلى مياه التغذية كمصدر للكلور الابتدائي وذلك للتطهير والتعقيم وقتل البكتريا وكذلك يعتبر الكلور مادة مؤكسدة تحول أكاسيد الحديد الغير مترسبة إلى أكاسيد مترسبة يمكن أن تحجز بداخل فلتر الرمل

2- يتم إضافة المادة المروية إلى مياه التغذية إذا لزم الأمر لكي تساعد على تماسك المواد العالقة في المياه وكذا تسهل عملية حجز هذه العوالق في فلتر الرمل .

3- يتم إضافة مادة الصوديوم ميتا بيسلفيت إلى الماء لنزع الكلور المتبقي فى الماء قبل الدخول على الأغشية حتى لا يحدث تأكل للأغشية حيث يعتبر الكلور عامل مؤكسد قوى للمادة التي يصنع منها الغشاء أو يمكن استعمال فلتر الكربون النشط لامتصاص الباقي من الكلور قبل دخوله إلى الغشاء .

4- ثم يتم إضافة الحامض ومانع الترسيب للقشور الذي يمنع ترسيب الأملاح داخل الأغشية، ثم يتم التأكد من دخول الكيماويات إلى المياه عن طريق القياسات الآتية:

أ. قياس نسبة الكلور الابتدائي عن طريق جهاز الكتروني لحظي أو جهاز قياس عيني

ب. قياس الأس الهيدروجيني للمياه المالحة عن طريق جهاز الكتروني لحظي أو جهاز قياس عيني

ج. قياس نسبة الكلور المتبقي بعد حقن مادة الصوديوم ميت بيسلفيت (SMS) بواسطة جهاز ORP للتأكد من أن نسبته تساوى صفر وفى وجود كلور متبقي يقوم الجهاز بإرسال إشارة إلى وحدة التحكم للمحطة بتوقف المحطة لمنع وصول الكلور إلى الأغشية حتى لا يحدث تأكل لها

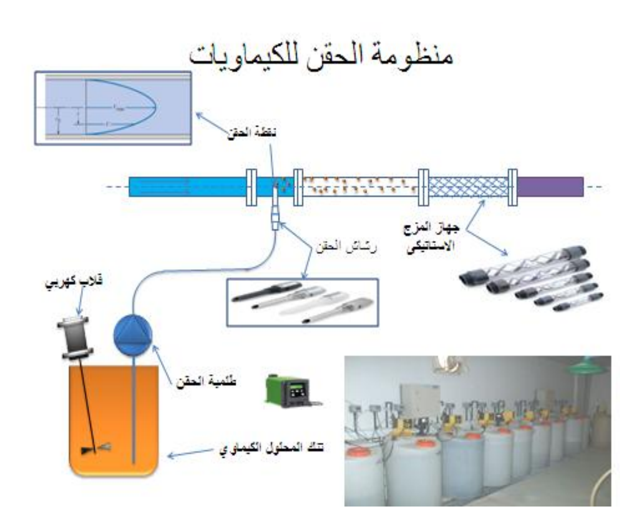
د. متابعة أداء تشغيل مضخات حقن الكيماويات.

تعليمات تشغيل مضخات منظومة حقن الكيماويات

قبل البدأ في تشغيل المحطة يتم التأكد من ملى جميع خزانات الكيماويات بالتركيزات المطلوبة لكل مادة وجميع مضخات الكيماويات في وضع التشغيل الطبيعي وعند معدل الحقن المطلوب لكل مادة كيماوية

أسلوب التحكم في مضخات الحقن الكيميائي .

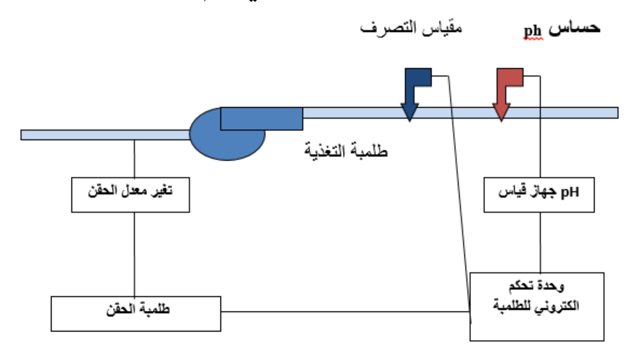
تختلف كمية المواد الكيميائية اللازمة لإتمام عملية التحلية طبقاً لكميات المياه المطلوب إنتاجها ففي حالة التشغيل اليدوي يتم التحكم في مضخات الحقن عن طريق ضبط نسبة التركيز ومعدل الحقن للمضخة تبعاً لكمية مياه التغذية للمحطة وتركيز مادة الحقن داخل تنك التحضير



شكل رقم 15-2 : أنظمة حقن المواد الكيميائية.

التشغيل الالى لمنظومة حقن الكيماويات

في حالة التشغيل الالى يتم التحكم في الكمية المطلوبة عن طريق تغير سرعة المضخة وبذلك يتم تغير الكمية المحقونة من المادة الكيماوية طبقاً لكمية المياه المالحة الداخلة للمحطة والتي يتم تحديدها بواسطة حساس قياس التصرف Flow meter (FSF) ويقوم جهاز التحكم أوتوماتيكيا بتحديد كمية التصرف اللازمة لمضخات الحقن الكيميائي و مثال على ذلك يتم التحكم في سرعة مضخة الحامض طبقاً لقيمة الـ pH الموجودة بالمياه حتى يتم الوصول إلى القيم المطلوبة لإتمام عملية التحلية ، ويتم ذلك بواسطة برنامج محمل على الحاسب الآلي يقوم بقراءة قيمة الـ pH للمياه وإعطاء الأمر للمضخة حتى يتم الوصول إلى القيمة المطلوبة لعملية التحلية.

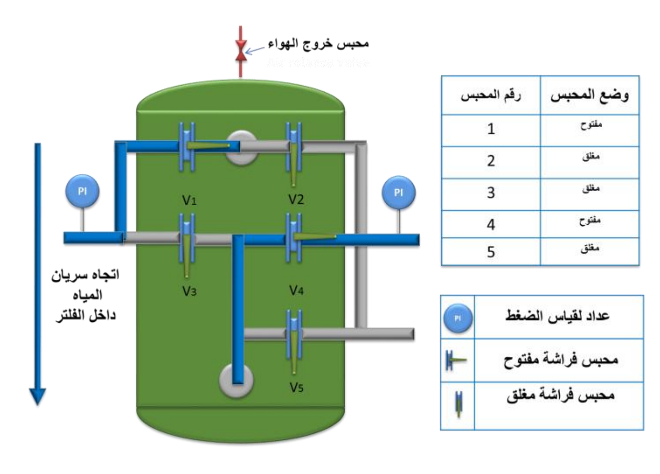


شكل رقم 15-3 : كيفية التحكم في ضبط قيمة الـ pH.

15.2.4 تعليمات التشغيل للفلاتر الرملية

خطوات التشغيل اليدوي

1- يتم فتح المحبس رقم (1) ورقم (4).
2- يتم التأكد من خروج الهواء من الفلتر الرملي عبر محبس الهواء الموجود أعلى الفلتر
3- يمر الماء من فتحة الدخول العلوية عند المحبس رقم (1) ليمر الماء حيث يمر الماء عبر طبقات الرمل ليتم ترشيحه حتى 50 ميكرون ثم يخرج الماء المرشح من فتحة الخروج عند المحبس رقم (4) كما هو موضح شكل رقم 13-7.



وضع المحبس	رقم المحبس
مفتوح	1
مغلق	2
مغلق	3
مفتوح	4
مغلق	5

شكل رقم 15-4 : وضح المحابس للفلتر الرملي أثناء التشغيل.

متابعة أداء الفلتر عن طريق قياس الضغط وتكون كالأتي:

1- ضغط الدخول للمياه قبل فلتر الرملي لا تقل عن 4 بار
2- ضغط الخروج للمياه بعد الفلتر لا تقل عن3 بار
3- فرق الضغط بين الدخول والخروج للفلتر لا تزيد عن 1 بار

<u>خطوات الغسيل العكسي للفلتر الرملي بالنظام اليدوي</u>

1- يتم اللجوء إلى الغسيل العكسي للفلتر الرملي عندما يصل فرق الضغط بين دخول المياه وخروجها إلى 1 بار ويتم قياس ذلك من خلال عدادات قياس الضغط الموضوعة على فتحات الدخول والخروج للفلتر

2- يتم فتح المحبس رقم (2) ورقم (3) وإغلاق باقي المحابس ليمر الماء من فتحة الخروج السفلية عند المحبس رقم (3) ليمر الماء من أسفل إلى أعلى عبر طبقات الرمل لمدة 5 دقائق

وضع المحبس	رقم المحبس
مغلق	1
مفتوح	2
مفتوح	3
مغلق	4
مغلق	5

عداد لقياس الضغط	PI
محبس فراشة مفتوح	
محبس فراشة مغلق	

شكل رقم 15-5: وضح المحابس للفلتر الرملي أثناء الغسيل العكسي.

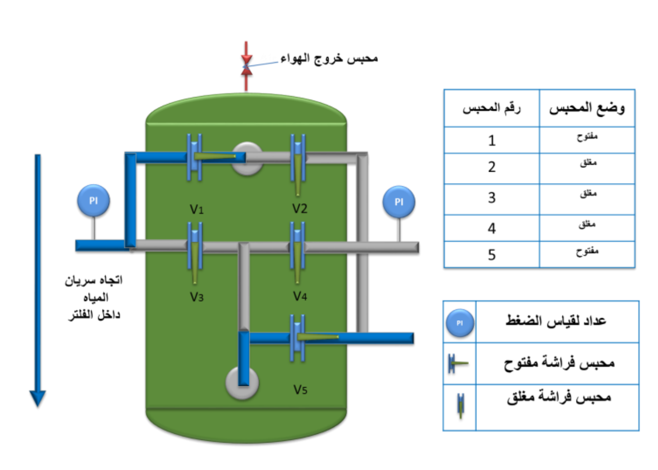
3- يتم دفع هواء مضغوط مع ماء الغسيل لإسراع وتسهيل عملية الغسيل وفصل الشوائب المعلقة بحبيبات الرمل لمدة 15دقيقة

4- يتم الاستمرار في عملية الغسيل العكسي وخرج ماء الغسيل محملاً بالشوائب الموجودة داخل الفلتر من فتحة الغسيل عند المحبس رقم (2) كما حتى تصبح مياه الخروج نقية هو موضح شكل رقم 13-8.

5- يتم إغلاق محابس الهواء أولا ثم يتم إغلاق محابس الغسيل العكسي ببطي لضمان استقرار حبيبات المديا في مكانها.

<u>خطوات عملية الشطف للفلتر الرملي بالنظام اليدوي</u>

تتم عملية الشطف للفلتر الرملي بعد عملية الغسيل العكسي للفلتر لضمان عودة محتويات الفلتر إلى موضعها داخل الفلتر تبعاً لوزنها الجزئي و ذلك بفتح المحبس رقم (1) ورقم (5) وإغلاق باقي المحابس ليمر الماء من فتحة الدخول العلوية عند المحبس رقم (1) ليمر الماء من أعلى إلى أسفل عبر طبقات الرمل ليتم شطفها واستقرار حبيبات المديا في موضعها الصحيح تبعاً لوزنها الجزئي كما هو موضح شكل رقم 13-9.



وضع المحبس	رقم المحبس
مفتوح	1
مغلق	2
مغلق	3
مغلق	4
مفتوح	5

عداد لقياس الضغط	PI
محبس فراشة مفتوح	
محبس فراشة مغلق	

شكل رقم 15-6 : وضح المحابس للفلتر الرملي أثناء الشطف.

15.2.5 تعليمات التشغيل للفلاتر القطنية

الفلتر القطن هو عبارة عن جسـم اسطواني يقوم فلتر القطن بتنقية المياه المالحة وإزالة الشوائب حتى 5 ميكرون مصنـع من الفيبر جـلاس أو الأستانلس ستيل يحتوى بداخله على عدد من الشمعات ويتوقف عدد الشمعات على كمية المياه المطلوب تنقيـتها والشكل التالي يوضح شكل الفلتر القطني

تعليمات التشغيل اليدوي

1- التأكد من خروج الهواء من الفلتر القطني عبر محبس الهواء الموجود أعلى الفلتر
2- متابعة أداء الفلتر عن طريق قياس الضغط وقيمة SDI وتكون كالأتي:
   أ. ضغط الدخول للمياه قبل فلتر القطني لا تقل عن 3 بار
   ب. ضغط الخروج للمياه بعد الفلتر لا تقل عن2 بار
   ج. فرق الضغط بين الدخول والخروج للفلتر لا تزيد عن 1 بار
   د. قياس أداء الفلتر بواسطة جهاز SDI بحيث لا تزيد قيمتها عن 3 عند SDI 15

تعليمات الصيانة للفلتر القطني

عند انسداد الفلتر يمنع منعا تاما عمل غسيل للشمعــات واستخدامها مرة أخرى ولكن يتم استبدالها بشمعات جديدة ويراعى عند تركيب شمعات جديده إحكام الغلق على الشمعات من أعلى الفلتر بواسطة السوست الحاكمة للشحنة

15.3 أجهزة القياس والتحكم لمرحلة التناضح العكسي

يتم وضع مجموعة أجهزة قياس وحساسات ومحابس في مسار خطوط سحب والطرد لمضخة الضغط العالي والأغشية

1- جهاز قياس تصرف لمياه التغذية، يقوم بقياس كمية مياه التغذية قبل الدخول على مضخة الضغط العالي وتسجيل قيمتها.
2- جهاز قياس ملوحة لمياه التغذية، يقوم بقياس ملوحة مياه التغذية قبل الدخول على مضخة الضغط العالي وإيقاف المحطة تلقائيا فى حالة وصول ملوحة مياه التغذية إلى أكثر من القيمة المسموح بها.
3- حساس حرارة، لقياس درجة حرارة المياه الداخلة إلى أغشية التحلية وفى حالة وصول درجة الحرارة إلى 35 م يقوم الحساس بإرسال إشارة إلى جهاز التحكم ليقوم بدوره بإعطـاء أمر بإيقاف المحطة وذلك لحماية أغشية التحلية مـن التأثير الضـار لارتفاع درجة الحرارة.
4- حساس ORP، قياس نسبة الكلور المتبقي بعد حقن مادة الصوديوم ميت بيسلفيت (SMS) بواسطة جهاز ORP للتأكد من أن نسبته تساوى صفر وفى وجود كلور متبقي يقوم الجهاز بإرسال إشارة إلى وحدة التحكم للمحطة بتوقف المحطة لمنع وصول الكلور إلى الأغشية حتى لا يحدث تأكل لها.

5- حساس ضغط السحب، يقوم بقياس الضغط بخط السحب لمضخة الضغط العالي ليقوم بحمايتها في حالة انخفاض الضغط في الخط عن 1.5 ضغط جوى يقوم الحساس بإرسال إشارة إلى جهاز التحكم بإيقاف المحطة وفى حالة بدأ التشغيل يقوم بحماية المضخة وذلك بعد السماح بتشغيل المضخة إلا في حالة وصول الضغط إلى 1.5 بار .

6- حساس الضغط الطرد، يقوم بقياس الضغط في خط طرد المضخة وذلك لحماية أغشية التحلية من ارتفاع الضغط المسموح به وفى حالة زيادة الضغط في الخط عن 75 ضغط جوى يقوم بإرسال إشارة إلى جهاز التحكم بإيقاف المحطة حتى لا يحدث تأثير سلبي على الأغشية نتيجة لزيادة الضغط.

7- حساس فرق ضغط بين الدخول والخروج، يقومان بقياس الضغط في خط التغذية وخط المياه المركزة ويتم إرسال قيمتها إلى جهاز التحكم الذى يقوم بدوره بقياس الضغط بين الحساسين ويعتبر الفرق في الضغط بين الدخول والخروج هو العامل الذى يحدد مدى كفاءة الاغشية. وفى حالة زيادة فرق الضغط عن 5 ضغط جوى يقوم جهاز التحكم بإيقاف المحطة وإعطاء رسالة لعامل التشغيل بضرورة عمل غسيل كيميائى لأغشية التحلية لاستعادة كفاءتها.

8- محبس السحب، يتم التحكم من خلاله في عملية الشطف للاغشية فيقوم بالغلق في حالة الشطف وبالفتح في حالة التشغيل العادى للمحطة.

9- محبس المياه المركزة، في حالة عدم وجود منظومة توفير الطاقة مثل (التربو تشارج او التربينة او PX) حيث يتم من خلال التحكم في ضغط التشغيل وذلك بالغلق أو الفتح لمحبس تدريجيا حتى يتم الوصول إلى ضغط التشغيل المطلوب

10- محبس التحكم في مسار المياه المنتجة بعد أغشية التحلية، يقوم بالتحكم في مسار المياه المنتجة في حالة التشغيل العادي وفى حالة الغسيل الكيميائى.

11- المحبس الثلاثي الأوجه، هو محبس يتحكم في اتجاه سير المياه المركزة في حالة التشغيل العادى أو في حالة الغسيل الكيميائى

12- جهاز قياس تصرف المياه المركزة، يقوم بقياس كمية المياه المركزة وتسجيل قيمتها.

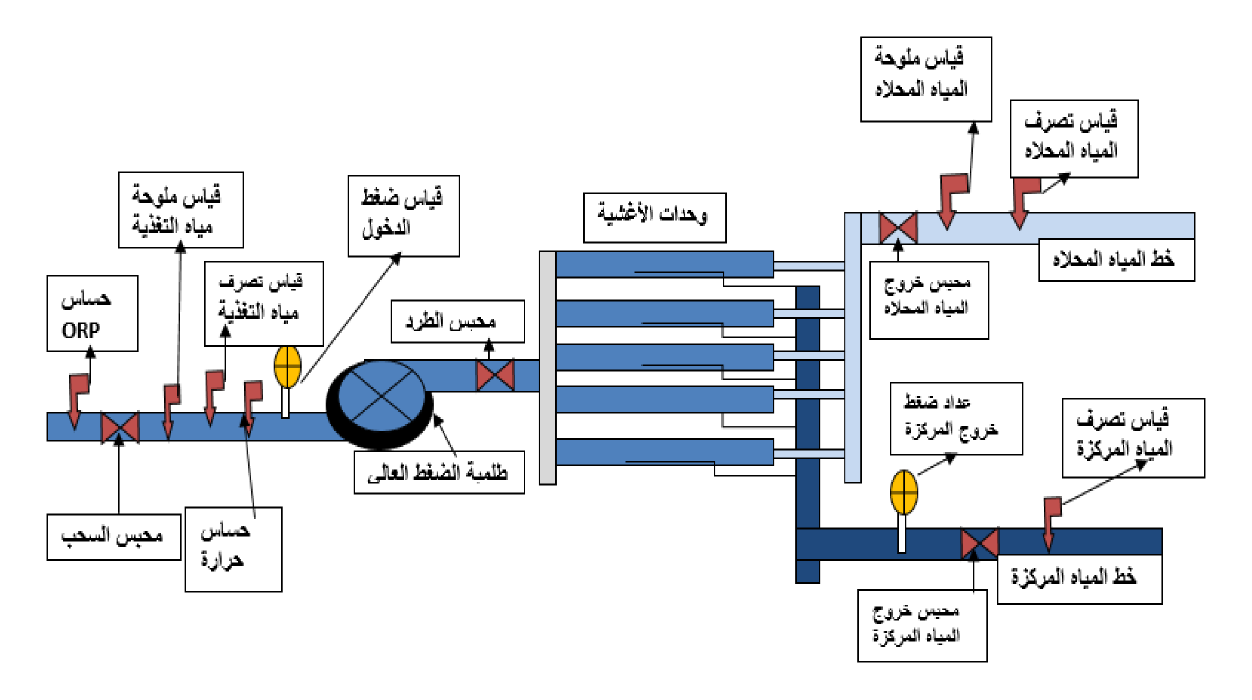
13- جهاز قياس تصرف المياه المنتجة، يقوم بقياس كمية المياه المنتجة وتسجيل قيمتها

14- جهاز قياس ملوحة المياه المنتجة، يقوم بقياس ملوحة المياه المنتجة وإيقاف المحطة تلقائيا في حالة وصول ملوحة المياه المنتجة إلى أكثر من القيمة المسموح بها.

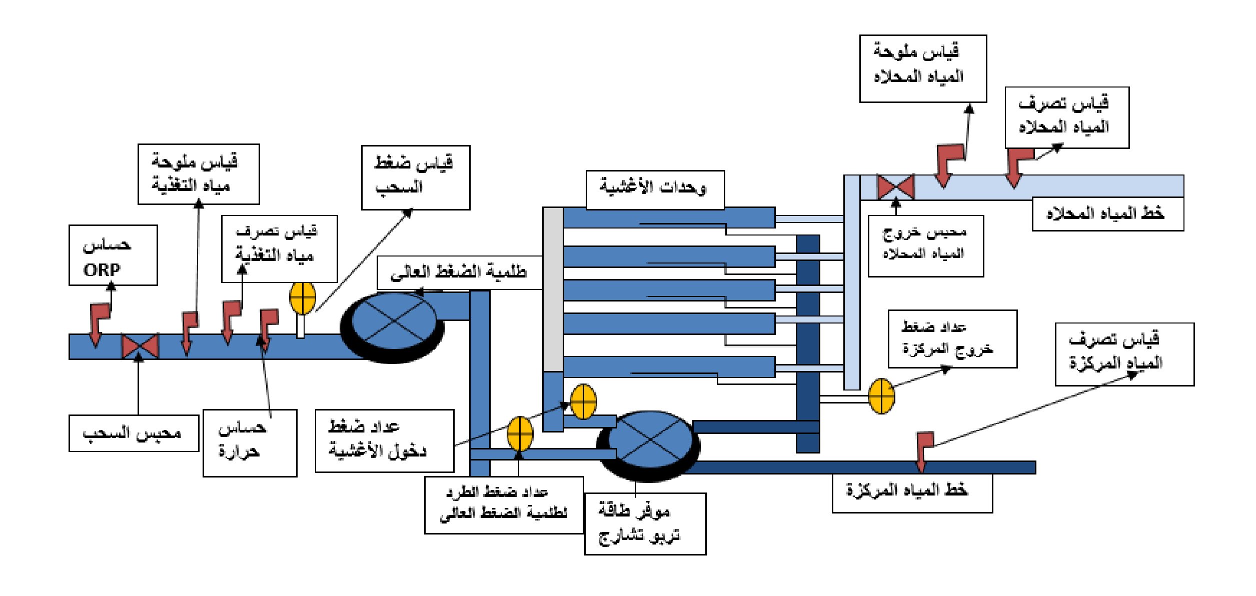
15.4 تعليمات تشغيل مضخة الضغط العالى ومرحلة التناضح العكسي

1- ضغط الدخول على مضخة الضغط العالي يتراوح من 2÷2.5 بار
2- ضغط الخروج للأغشية يتراوح من 60÷65 بار
3- فرق الضغط على الأغشية لا يزيد عن 3 بار
4- فحص جسم المضخة و التأكد من عدم وجود اهتزازات في جسم المضخة وذلك بواسطة جهاز قياس الاهتزازات
5- قياس الفولت والأمبير والتأكد من أنهم في الحدود الطبيعية للتشغيل
6- قياس درجة حرارة البلى للمضخة والماتور بعد التشغيل بـ10دقائق

7- قياس ملوحة وإنتاجية المياه المنتجة من خلال أجهزة قياس التصرف والملوحة.



شكل رقم 15-7 شكل تخطيطي لمرحلة RO تعمل بدون موفر طاقة موضح عليها اجهزة وعدادات القياس

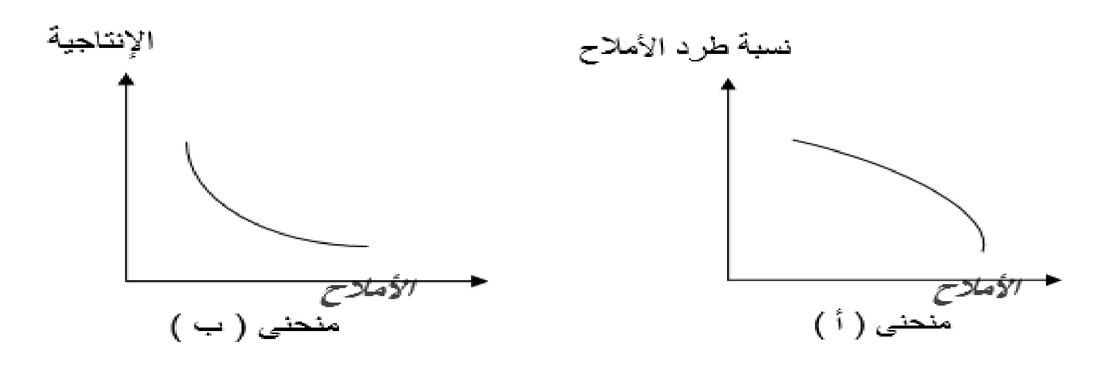


شكل رقم 15-8 شكل تخطيطى لمرحلة RO تعمل باستخدام موفر طاقة من نوع التربو تشارج موضح عليها اجهزة وعدادات القياس

16العوامل الموثرة على اداء اغشية التحلية بنظام التناضح العكسي

ملوحة مياه التغذية

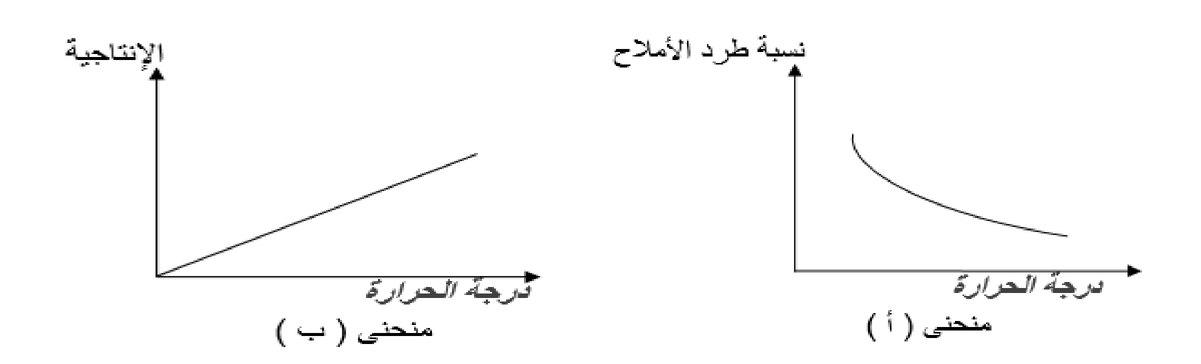
تأثير الأملاح الذائبة الكلية لمياه التغذية . كما هو موضح من المنحنى أنه مع ارتفاع الأملاح الذائبة الكلية لمياه التغذية تزيد درجة ملوحة المياه المنتجة منحنى (أ) وتنخفض الإنتاجية منحنى (ب) وتقل نسبة التحول شكل رقم 16-1



شكل رقم 16-1 : تأثير ملوحة مياه التغذية على أداء الأغشية.

درجة حرارة مياه التغذية

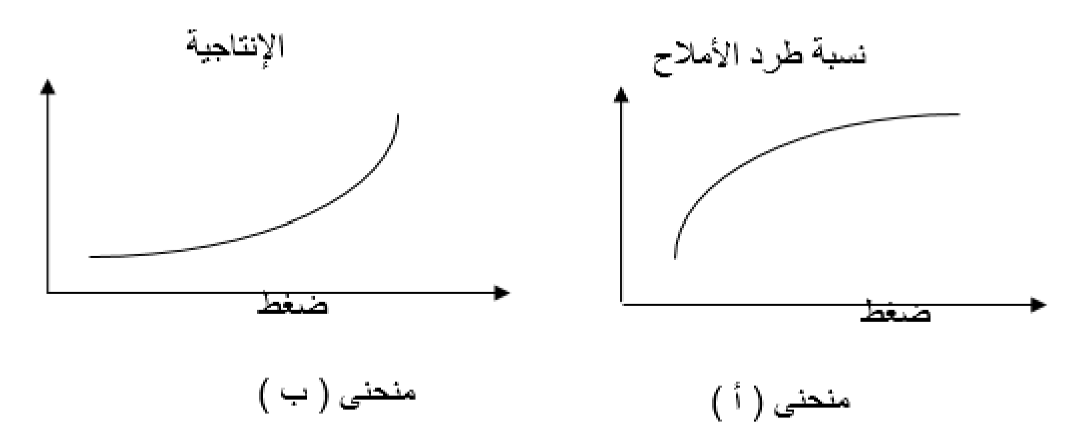
كما هو موضح من المنحنى مع ارتفاع درجة الحرارة ترتفع درجة ملوحة المياه المنتجة منحنى (أ) و تزيد الإنتاجية منحنى (ب) تزيد نسبة التحول شكل رقم 16-2



شكل رقم 16-2 : تأثير درجة حرارة مياه التغذية على أداء الأغشية.

ضغط الدخول للأغشية

مع زيادة ضغط الدخول للأغشية كما هو موضح في المنحنى أنه تزيد نسبة طرد الأملاح منحنى (أ) وتزيد الإنتاجية منحنى (ب) وتزيد نسبة التحول شكل رقم 16-3



شكل رقم 16-3 : تأثير ضغط الدخول للأغشية على أداء الأغشية.

17تقرير بدأ التشغيل للمحطة

عند بدأ التشغيل لأول مرة يتم اخذ القراءات الآتية لتكون مرجع للمحطة فيما بعد وعمل تقيم لأداء للمحطة من خلال منحنى الأداء للمحطة كل فترة

1- قياس التصرف والملوحة ودرجة الحرارة وقيمة (pH) لمياه التغذية.
2- قياس ضغط دخول المياه للأغشية
3- قياس (Silt Density Index “SDI”) لمياه التغذية.

وهو يعبر عن محتوى مياه تغذية المحطة من المواد التى لا تذوب فى المياه وهى عبارة عن المركبات العضوية والطحالب ومواد صلبة عالقة وتقاس بجهاز (SDI)، ويتم من خلالها معرفة مدى كفاءة عملية الفلترة للفلتر الرملي والقطني في المعالجة الأولية

4- قياس عكارة مياه التغذية (Turbidity)

والعكارة هو مصطلح للتعبير عن شفافية المياه وتقاس العكارة بوحدة (NTU)

5- قياس مدى كفاءة منظومة الكلورة الأولية

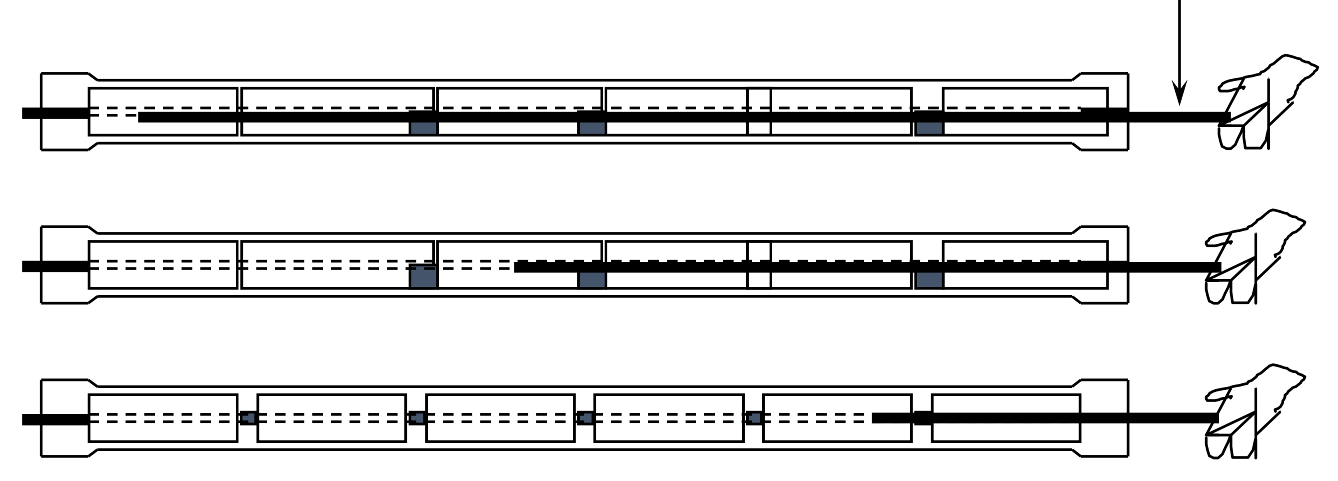
وذلك عن طريق حساس (ORP) والذي يقوم بقياس نسبة الكلور المتبقي بعد حقن مادة الصوديوم ميت بيسلفيت (SMS) بواسطة جهاز (ORP) للتأكد من أن نسبته تساوى صفر وفى وجود كلور متبقي يقوم الجهاز بإرسال إشارة إلى وحدة التحكم للمحطة بتوقف المحطة لمنع وصول الكلور إلى الأغشية حتى لا يحدث تأكل لها

6- قياس التصرف والملوحة وقيمة (pH) وضغط الخروج للمياه المركزة
7- قياس التصرف والملوحة وقيمة (pH) ودرجة الحرارة وضغط الخروج للمياه المحلاه
8- الوقوف على حالة الأغشية من حيث الملوحة والإنتاجية

بعد مرور ساعة على بدأ التشغيل المستقر للمحطة يتم اخذ قراءة معدل التصرف والملوحة لكل وعاء ضغط على حدا وقياس ملوحة كل غشاء منفصلاً وذلك من خلال التجربة الموضحة شكل رقم 17-1.

9- قياس درجة الملوحة لكل غشاء.

يتم تجهيز خرطوم به جوانات حاكمة لمنع اختلاط مياه الأغشية مرن وإدخاله داخل ماسورة المياه المنتجة حتى تكون عند منتصف الغشاء الأول وتجميع المياه من الخرطوم داخل خزان ويتم قياس أول غشاء ثم يتم سحب الخرطوم ليكون عند الغشاء الثانى وهكذا حتى أخر غشاء



شكل رقم 17-1 : قياس ملوحة كل غشاء منفصلاً.

10- اخذ قراءات إنتاجية المحطة كل 8 ساعات.
11- اخذ قراءات الضغوط للمحطة كل8 ساعات.
12- حساب فرق الضغط لدخول وخروج المحطة.
13- حساب نسبة الإستخلاص الكلى للمحطة (Recovery).

جدول 17-1جدول التشغيل والمتابعة لأداء محطة التحلية بنظام التناضح العكسي

م	بيانات مكونات المحطة	قراءات لحظية بواسطة أجهزة	قراءات يومية	قراءات دورية كل أسبوع	إنذار خطورة لتوقف المحطة
1	ملوحة مياه التغذية	1	1		
2	مياه التغذية PH	1	1		1
3	درجة حرارة مياه التغذية	1	1		1
4	ضغط الدخول لمياه التغذية	1	1		1
5	تصرف الدخول مياه التغذية	1	1		1
6	عكارة مياه التغذية(NTU)	1	1		1
7	SDI بمياه التغذية		1		1
8	تركيز الكلور بمياه التغذيةORP	1	1		1
9	تركيز مادة مانع الترسيب		1		1
10	نسب كل ملح على حدا للأملاح الموجودة بمياه التغذية			1	
11	ملوحة المياه المركزة		1		
12	المياه المركزةPH	1	1		
13	درجة حرارة المياه المركزة		1		
14	ضغط الخروج للمياه المركزة	1	1		
15	تصرف الخروج للمياه المركزة	1	1		1
16	ملوحة المياه المحلاه	1	1		
17	المياه المحلاهPH	1	1		
18	درجة حرارة المياه المحلاه		1		
19	ضغط الخروج للمياه المحلاه		1		1
20	تصرف الخروج للمياه المحلاه	1	1		1
21	نسب كل ملح على حدا للأملاح الموجودة بالمياه المحلاه			1	
22	فرق الضغط بين دخول وخروج للأغشية	1	1		1
23	نسبة الإستخلاص.		1		1
24	ملوحة كل وعاء ضغط على حدة			1	
25	ملوحة كل غشاء على حدة			1	
26	قياس أداء استخلاص الأملاح			1	

18 الغسيل الكيميائي و التعقيم لأغشية التحلية بنظرية التناضح العكسي

18.1 مقدمة

يتعرض سطح الغشاء في عملية التحلية بنظرية التناضح العكسي للإنسداد كنتيجة لوجود مواد غير مرغوب فيها في مياة التغذية لعملية التحلية و مثل هذة المواد هي :

1- أكاسيد المعادن المتحدة مع الماء
2- رواسب عنصر الكالسيوم
3- المواد العضوية و البيولوجية

و يشمل الإنسداد على سطح الأغشية أي طبقات متراكمة على سطح الغشاء مما في ذلك ترسيبات الأملاح.

و للحد من آثار الأنسداد و التلوث على سطح الأغشية يتم تصميم وحدة المعالجة الأولية السابقة لعملية التحلية لمعالجة المياة الخام و التخلص من أي مواد غير مرغوب فيها قد تؤدي الى انسداد الأغشية.

و لتحقيق ذلك يجب ان يكون تصميم نظام المعالجة الأولية مناسبا لمواصفات المياة الخام و مواصفات المياة المطلوب تحليتها و لا يعتمد انسداد و تلوث سطح الأغشية على تصميم وحدة المعالجة الأولية فقط و لكن كذلك على كفاءة التشغيل لوحدة المعالجة الأولية فقط و لكن كذلك على كفاءة التشغيل لوحدة المعالجة الأولية و أيضا وحدة التحلية بنظام التناضح العكسي و ظروف تشغيلها الفعلية و على سبيل المثال معدل تصرف المياة المحلاة و ضغط التشغيل و نسبة الأستخلاص .

<u>و يحدث اسنداد و تلوث سطح الأغشية من حين لآخر كنتيجة للآتي :</u>

1- نظام المعالجة الأولية غير مناسب
2- سوء عملية التشغيل و الصيانة لوحدة المعالجة الأولية
3- الأختيار الغير مناسب لمواد التصنيع الخاصة بمحطة التحلية كالمضخات و الأنابيب و غيرها
4- وجود قصور في أنظمة حقن المواد الكيماوية
5- عدم إتمام عملية الشطف للأغشية على الوجة الأمثل بعد توقف المحطة عن العمل
6- التشغيل الغير مناسب لوحدة التحلية
7- الترسبات للأملاح على المدي البعيد على سطح الغشاء و التي تحتاج لفترة طويلة بظهور تأثيرها مثل أملاح الباريوم و السيليكون
8- التغيير في خواص و مواصفات مياة التغذية
9- التلوث البيولوجي للمياة

و يؤثر هذا الأنسداد على سطح اغشية التحلية تأثيرا سلبيا مباشرا على كفاءة الأداء للأغشية و يظهر هذا التأثير السلبي إما في:

1- انخفاض كمية المياة المحلاة المنتجة
2- زيادة نسبة الاملاح في المياة المنتجة
3- زيادة فرق الضغط فيما بين دخول المياة التغذية و خروج المياة المركزة

تعتمد كفاءة عملية الغسيل الكيميائي لأغشية التحلية على قدرة الغشاء على تحمل درجات الحرارة و استقرار درجة الحامضية و كذلك على العناصر المترسبة فإذا لم تتم عملية الغسيل الكيميائي في الوقت المناسب فإنه قد يكون من الصعب إزالة الأنسداد أو التلوث بالكامل من على سطح الغشاء .

و تكون عملية الغسيل الكيميائي أكثر فاعلية إذا تم اختيار نوع مادة الغسيل الكيميائي و طريقة و تسلسل عملية الغسل الكيميائي طبقا لطبيعة المواد المراد إزالتها من على سطح الغشاء و يعتبر هذا الأختيار من أهم ان لم يكن أهم الأسباب التي تؤثر على نجاح عملية الغسيل الكيميائي و لأن و للأسف فأن في حالة اختيار الخطأ لنوع مادة الغسيل و طريقة الغسيل قد تؤدي الى سوء حالة الأغشية .

مما سبق يتضح ان من الضرورة أن يتم تحديد نوع الأنسداد او التلوث الموجود عل سطح الغشاء قبل القيام بعملية الغسيل الكيميائي طبقا لما يلي:

1- تحليل بيانات تشغيل محطة التحلية
2- تحليل مياة التغذية فقد يكون فيها ما يظهر إحتمالات لحوث انسداد أو تلوث طبقا لما تحتوية نتائج التحاليل
3- مراجعة نتائج عمليات الغسيل الكيميائي السابقة
4- تحليل عناصر الانسداد او التلوث الموجودة في الغشاء الخاص بجهاز قياس (SDI)
5- تحليل الترسيبات الموجودة على الفلتر القطني
6- ملاحظة الترسبات الموجودة على السطحط الداخلي لأنابيب خط التغذية و كذلك مسارات الدخول لأغشية التحلية فعلى سبيل المثال:
   أ- إذا كان يوجد ترسبات باللون البني المائل للإحمرار فإنه يوجد احتمال كبير لوجود انسداد او تلوث بعناصر الحديد.
   ب- إذا كان هناك يوجد تلوث غروي أو هلامي فإن احتمال وجود تلوث بيولوجي او بمواد عضوية هو الاحتمال الأعلي.

18.2 احتياطات السلامة و الآمان

عند استخدام اي مادة كيميائية يجب اتباع تعليمات السلامة و الآمان بالموقع بالأضافة الى ضرورة مراجعة الشركات المصنعة للمواد الكيماوية المفصلة عن الآمان في كيفية التداول و التخلص من هذة المادة.

عند اعداد المحاليل الكيميائية الخاصة بعملية الغسيل الكيميائي لأغشية التحلية يجب التأكد من ان المواد الكيميائية قد ذابت في الماء و اختلطت به بكيفية جيدة قبل دخول الغسيل الى اغشية التحلية.

يجب ان تتم عملية شطف الأغشية بمياة نقية ذات جودة عالية و خالية من الكلور بعد الانتهاء من عملية الغسيل الكيميائي و يفضل ان تكون المياة المستخدمة في عملية الشطف مياة محلاة.

يمكن استخدام المياة الخام المفلترة في عملية إزاحة محلول الغسيل الكيميائي من وحدة التحلية بعد انتهاء عملية الغسيل و لكن توجد هناك مخاطرة من حدوث ترسيبات على سطح الغشاء سواء من المحلول الكيميائي او نتائج ازالة اسباب الأنسداد او التلوث .

بعد انتهاء عملية الغسيل الكيميائي يجب ان يؤخذ في الأعتبار عند بدأ التشغيل في اول مرة يجب ان يجب ان يكون باستخدام كميات قليلة من المياة و بضغط منخفض حتي يتم ازالة الجزء الاكبر من محلول الغسيل الكيميائي من داخل اغشية التحلية قبل بدء التشغيل في ظروف التشغيل الطبيعية من حيث التصرفات و الضغوط طبقا لتصميم المحطة, مع ملاحظة انه في حالة عدم العمل بهذة الاحتياطات سوف نواجة مشكلة ظهور آثار لمحاليل الغسيل في المياه المحلاة المنتجة من هذة المحطة

من المعلوم ان التفاعلات الكيميائية قد تحتاج الى حرارة او ينتج منها حرارة و يؤدي كذلك التفاعل الى تغيير قيمة درجة الحامضية للمحلول و كذلك ان يراعي أثناء الغسيل الكيميائي الا تتعدي حرارة المحلول الكيميائي او درجة الحامضية الحدود المسموح بها كما هو موضح بالجدول رقم (18-1) الآتي مع مراعاة ان هذة القيم للإستدلال وتراجع الشركات المصنعة للأغشية.

جدول رقم (18-1) : حدود درجة الحامضية طبقاً لدرجة حرارة المياه.

نوع الغشاء	اقصي درجة حرارة 25°م درجة الحامضية	اقصي درجة حرارة 35°م درجة الحامضية	اقصي درجة حرارة 45°م درجة الحامضية
أغشية مياة الأسنة	13 ÷ 1	12 ÷ 1	10.5 ÷ 1
أغشية مياة البحر	13 ÷ 1	12 ÷ 1	10.5 ÷ 1

يجب ان يراعى عند تنفيذ عملية الغسيل الكيميائي لأغشية التحلية ذات الأقطار الاكبر من 6 بوصة ان يكون اتجاة سريان المحلول الكيميائي نفس اتجاة سريان المياة اثناء عملية التشغيل العادية و ذلك لتجنب حدوث تداخل للغشاء على شكل تليسكوب, لأنه في هذه الاقطار يتم تركيب حلقة منع التداخل التلسكوبي للأغشية من ناحية المياة المركزية فينهاية وعاء الضغط، و يفضل كذلك مراعاة اتجاة السريان في الأغشية ذات الأقطار الأقل.

18.3 متطلبات عملية الغسيل الكيميائي

أثناء التشغيل الطبيعي لمحطات التحلية بنظرية التناضح العكسي يمكن ان يحدث انسداد او اتساخ لسطح الاغشية بسبب التالي:

1- ترسبات الاملاح

2- تلوث بيولوجي
3- ترسبات غروية
4- مكونات عضوية غير قابلة للذوبان

و تتكون هذة الترسبات على سطح الاغشية اثناء عملية التشغيل حتي يحدث انخفاض كمية المياة المنتجة او انخفاض قدرة الغشاء على حجز الاملاح في ظروف التشغيل الطبيعية.

من الضروري ان تتم عملية الغسيل في الأغشية في الحالات الآتية :

1- انخفاض كمية المياة المنتجة عن التشغيل الطبيعي بنسبة 10%.
2- انخفاض قدرة الغشاء على حجل الاملاح عند التششغيل بنسبة 10%.
3- ارتفاع فرق الضغط بين دخول مياة التغذية و خروج المياة المركزة عند ظروف التشغيل العادية بنسبة من 10 ÷ 15%.

يجب ملاحظة الا يتم الأنتظار طويلا في حالة وصول الأغشية إلى ما تم ذكره سابقا و أن يتم البدء فورا في عملية الغسيل الكيميائي لأنه في حالة التأخير عن اللازم في حالة احتياج الأغشية الى عملية الغسيل الكيميائي قد يؤدي الى عدم إستعادة كفاءة الأغشية بشكل مرضي بالأضافة الى أنها سوف تؤدي الى انسداد الأغشية بمعدل اعلى مما يؤدي بدوره الى زيادة معدل عمليات الغسيل الكيميائي عن الحد الطبيعي.

يجب ان يتم تسجيل و قياس فرق ضغط التشغيل على أغشية التحلية فيما بين كل مرحلة من مراحل اوعية الضغط و يجب ملاحظة الآتي :

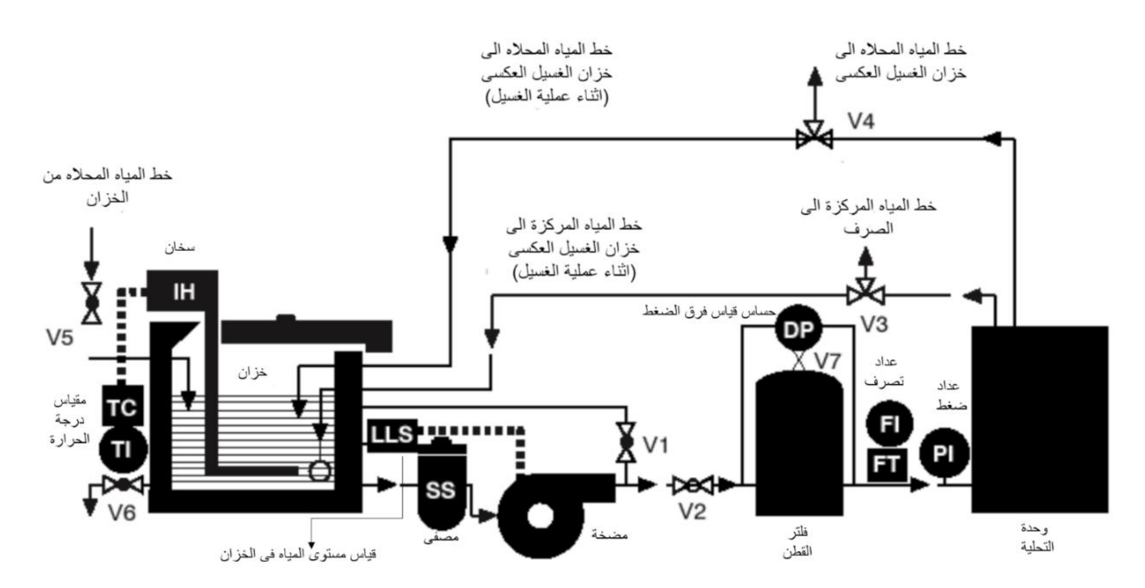
1- في حالة انسداد مسارات التغذية داخل الأغشية سوف تصبح هذة الأغشية مسدودة مما يؤدي مباشرة الى زياده فرق الضغط.
2- في حالة انخفاض درجة حرارة مياة التغذية فسوق يؤدي ذلك الى انخفاض تدفق المياة المنتجة من خلال الأغشية.

و يجب مراعاة أنه في حالة ارتفاع فرق الضغط او انخفاض كمية المياة المنتجة للأسباب السابقة هو أمر طبيعي و لا يعني بالضرورة حدوث انسداد او تلوث في الأغشية

في حالة حدوث انخفاض في كمية المياة المنتجة أو قدرة الغشاء على حجز الأملاح فيجب ألا يتم الأتجاه المباشر الى القيام بعملية الغسيل الكيميائي و لكن يجب في المقام الأول الوقوف على الأسباب التي أدت الى ذلك فهل هي على سبيل المثال بسبب حدوث خلل في عملية المعالجة الأوليه او في ضغط التشغيل او بسبب زيادة نسبة الأستخلاص، فيجب معرفة السبب و معالجته قبل الضلوع في عملية الغسيل الكيميائي لأنه في بعض الأحيان تكون الأغشية ليست بحاجة الى الغسيل الكيميائي.

18.4 المعدات المستخدمة في عملية الغسيل الكيميائي

شكل رقم 13-7 يوضح المعدات المطلوبة في عملية الغسيل الكيميائي.



شكل رقم 18-1 : المعدات المطلوبة في عملية الغسيل الكيميائي.

عملية الغسيل الكيميائي لأغشية التحلية تتطلب استخدام محاليل كيميائية ذات درجة حامضية عالية تتراوح ما بين (1-13) و لهذا السبب يجب ان تستخدم مواد غير قابلة للتآكل في جميع مكونات منظومة الغسيل الكيميائي.

1- خزان الغسيل الكيميائى

أ- يصنع خزان الغسيل الكيميائى من مادة البروبينيل او من البلاستيك المقوى بالفيبر جلاس.

ب- يجب ان يتم تركيب الخزان على اساس وجود غطاء يمكن تغيير و وضع المحلول الكيميائى من خلاله و ايضا يتم تركيب عداد لقياس درجة الحرارة داخل الخزان.

ج- يتأثر المحلول الكيميائى بدرجة الحرارة و خصوصاً فى درجات الحرارة العالية و لذلك يجب تحديد خصائص المحلول الكيميائى عن طريق تحديد الأس الهيدروجينى و درجة الحرارة.

د- لا يفضل إستخدام محلول كيميائى تكون درجة حرارته أقل من 15 درجة سيليزية و ذلك بسبب ان فى درجات الحرارة المنخفضة تكون التفاعلات الكيميائية بطيئة جداً و غير فعالة.

ه- فى بعض المناطق الحارة قد يتطلب الأمر وجود عملية تبريد للمحلول الكيميائى و لذلك عند تصميم عملية الغسيل الكيميائى يراعى تحديد عملية التبريد و التسخين.

و- العناصر الأساسية فى اختيار مقاس و حجم الخزان هو تحديد حجم أوعية الضغط و هى فارغة و بعد ذلك يتم إضافة الأغشية و المواسير

2- مضخة الغسيل الكيميائى
أ- يجب تحديد التصرف و الضغط المطلوب مما يسهل أختيار مضخة الغسيل الكيميائى و ايضاً يجب حساب الفقد فى الضغط فى المواسير و عبر فلتر القطن و ذلك لضمان إتمام عملية الغسيل بنجاح.
ب- المواسير المستخدمة مع مضخة الغسيل الكيميائى يجب أن تكون مصنعة من الأستانلستيل 316 أو مركب غير معدنى يحتوى على مادة البوليستير.
3- المحابس و عداد قياس التصرف و عداد الضغط
أ- تساعد على التحكم فى التصرف الخاص بالمحلول الكيميائى اثناء عملية الغسيل الكيميائى و إتمام عملية الغسيل بنجاح.
4- خطوط المياه
أ- يجب التأكد من ان خط المياه المحلاه و خط المياه المركزة مغمورين داخل الخزان و ذلك لتقليل حدوث رغوة فى المياه داخل الخزان.

18.5 خطوات عملية الغسيل الكيميائي

تتكون عملية الغسيل الكيميائى من الخطوات الأتية :
1- تحضير المحلول الكيميائى.
2- ضخ المحلول الكيميائى.
أ- يتم ضخ المحلول الكيميائى بعد تحضيره و تجهيزه الى أوعية الضغط بتصرف و ضغط منخفض و ذلك لأستبدال المياه فى الأغشية بالمحلول الكيميائى
ب- يراعى استتخدام ضغط كافى و ذلك لتقليل فرق الضغط بين مياه التغذية و المياه المركزة بحيث يتم انتاج كمية قليلة محلاه و ايضا يساعد فى تقليل الترسيب على الأغشية
ج- يتم تفريغ المياه المركزة لمنع تخفيف المحلول الكيميائى
3- إعادة عملية الغسيل
أ- بعد أن تتم ازالة المياه العادية من داخل الأغشية يصبح محلول الغسيل فى مجرى المياه المركزة.
ب- يتم توصيل خط الميا المحلاه و المركزة للأغشية الى الخزان و ذلك يساعد على ثبات درجة الحرارة.
ج- قياس و ضبط الأس الهيدروجينى.
4- الأمتصاص
أ- يتم إطفاء مضخة الغسيل و ترك المحلول الكيميائى داخل الأغشية للأمتصاص 60 دقيقة
ب- فى حالات الترسيب الصعبة يتم ترك المحلول الكيميائى داخل الأغشية للأمتصاص من 10 الى 15 ساعة
5- أعادة التشغيل
أ- يتم تشغيل مضخة الغسيل الكيميائى من 30 الى 60 دقيقة
ب- تصرف المضخة يساعد فى شطف الأغشية من المواد العالقة على سطحه
6- الشطف

ج- تستخدم المياه المحلاه لشطف الأغشية عن طريق طرد محلول الغسيل
د- يجب عدم استخدام مياه التغذية او المياه الغير مفلترة للشطف و ذلك لأنها تحتوى على مكونات من الممكن ان تتفاعل مع المحلول الكيميائى مما يؤثر بالسلب على اداء الأغشية.
ه- يجب أن لا تقل درجة حرارة مياه الشطف 20 درجة سيلزيوس.

18.6 المبدأ الأساسي في عملية الغسيل الكيميائي

تعمد عملية الغسيل الكيميائي على مبدأ فك الرابطة بين جزيئي الملح ومثال على ذلك ملح كربونات كالسيوم ($Ca^{-}CO_3^{+}$) مرتبط ببعضـه بقوة لوجود شحنات موجبة على الكالسيوم وشحنات سالبة على الكربونات وينتج عن ذلك تكون ملح عسر لا يذوب في الميـاه ، ويعتبر ملح كربونات الكالسيوم ملح قاعدي ولكي نتمكن من فك الرابطة التي بيـن كربونات الكـالسيوم لابـد من التعامل معها فى وسط حمضى وكلما كان الوسط حامضي أكثر كلما كان أفضل ولكـن تـم اختيار (pH=4).

18.7 ملاحظات على عملية الغسيل

1- يجب ان تتم الغسيل الكيميائى لإنظمة التحلية متعددة المراحل بحيث تتم عملية الغسيل الكيميائى لكل مرحلة منفردة و ذلك لمنع ترسيب المواد الناتجة من غسيل المرحلة الأولى فى المرحلة الثانية مما يؤدى الى إتلاف الأغشية و إنسدادها
2- يجب تحديد نوع الغسيل الكيميائى من حيث نوع الترسيب على الأغشية و هما نوعين
(1) غسيل حمضى:
- يجب استخدامه فى حالات ترسيب كربونات كالسيوم , أكاسيد الحديد و هيدروكسيدات الحديد
- يتفاعل هذا النوع من الغسيل ايضا مع السيليكا و بيوفيلم الموجودين على سطح الأغشية و التى تقلل من كفاءة الأغشية
(2) غسيل قلوى
- يفضل استخدامه كخطوة أولى فى عملية الغسيل الكيميائى
- يجب إستخدامه فى حالات ترسيب المواد العضوية و الغروية
فى حالة حدوث ترسيب قلوى و حمضى يتم إستخدام نوعين الغسيل ولكن يكون الغسيل القلوى اولا وبعد ذلك يأتى الغسيل الحمضى.
3- يجب قياس الأس الهيدروجينى اثناء عملية الغسيل الكيميائى و عمل الأتى :
(1) إذا كانت قيمة الرقم الهيدروجينى اقل من 0.5 , لك يدل على انه يتطلب إضافة حمض
(2) إذا كانت قيمة الرقم الهيدروجينى اعلى من 0.5 , لك يدل على انه يتطلب إضافة قلوى
4- فى حالات الأمتصاص ذات الفترات الطويلة من الممكن ان يحدث ترسيب مرة اخرى على الأغشية و ايضا يحدث هبوط فى درجة حرارة المحلول الكيميائى و هذا يؤثر على كفاءة عملية الأمتصاص و لذلك يجب الأتى :
(3) ملاحظة درجة الحرارة و عدم هبوطها اكثر من 5 درجات

(4)متابعة قيمة الرقم الهيدروجينى و إضافة المواد الكيميائية اذا تتطلب الأمر تعديل الرقم الهيدروجينى

5- مع تكرار عملية الغسيل الكيميائى و تثبيت المحلول الكيميائى تطرأ عليه بعض التغييرات منها إرتفاع نسبة العكارة و ايضا يصبح لون المحلول الكيميائى شديد التركيز مما يجعل من الضرورة تغيير المحلول و وضع محلول كيميائى جديد

6- فى حالة توقف عملية الغسيل الكيميائى اكثر من 24 ساعة يجب ان يتم حفظ الأغشية فى محلول به صوديوم ميتا باى سيلفيت تركيز 1 %

18.8 تأثير الرقم الهيدروجينى فى عملية إزالة الترسيبات على الأغشية

تحديد قيمة الرقم الهيدروجينى من أهم العوامل التى تساعد على إتمام عملية إزالة المواد المترسبة على الأغشية بنجاح، حيث انه فى حالة اختلاف قيمة الرقم الهيدروجينى عن القيمة التى بنى عليها التصميم تكون الأغشية عرضة للإنسداد مما يؤدى الى تقليل العمر الأفتراضى للأغشية مما يؤدى الى زيادة التكلفة.

18.9 الكيماويات المستخدمة فى عملية الغسيل الكيميائى

يوجد نوعين من الغسيل الكيميائى هما الغسيل الحمضى و الغسيل القلوى حيث يتم استخدام الغسيل الحمضى لإزالة المواد الغير عضوية و يستخدم الغسيل القلوى لإزالة المواد العضوية.

يجب عدم استخدام حمض السلفوريك فى عملية الغسيل الكيميائى و ذللك بسبب خطورة مادة سولفات الكالسيوم.

يفضل استخدام المياه المحلاه من وحدة التحلية فى تحضير المحلول الكيميائى و ايضا يمكن استخدام المياه المالحة فى بعض الأحيان .

قد يتطلب اضافة كميات اكثر من الحمض او القلوى لمياه التغذية للوصول الى قيمة الرقم الهيدروجينى المنشودة و التى تكون 2 فى حالة الغسيل الحمضى و 12 فى حالة الغسيل القلوى.

18.10 امثلة لعملية الغسيل الكيميائى

تختلف عملية الغسيل الكيميائى عن الأخرى من حيث الأضافات الكيميائية و نوع المادة المترسبة على الأغشية.

تحديد القواعد العامة لجميع انواع الغسيل الكيميائى و هى :

1- المعدات الأساسية و تشمل الخزان – المضخات – فلتر القطن – المواسير.
2- تحديد قيمة الرقم الهيدروجينى.
3- تحديد درجة الحرارة.
4- تحديد الكمية الكافية من المحلول الكيميائى.
5- تحديد التوصيات و المقترحات بكل نوع من الغسيل.

فيما يلي سوف يتم طرح العديد من أساليب عملية الغسيل الكيميائي مع إختلاف أسباب الترسبات على سطح الأغشية و هي كالآتي:

18.10.1 ترسيب كبريتات على الأغشية

خطوات الغسيل الكيميائى الأتية مصممة على أساس وجود ترسيب كبريتات على الأغشية

يعتبر ترسيب الكبريتات على سطح الأغشية من الترسيبات القوية و الصعبة حيث يصعب الغسيل الكيميائى فى هذه الحالة و اذا لم يتم اكتشاف الترسيب مبكراً سوف يؤثر على سرعة إتمام عملية الغسيل

<u>خطوات الغسيل الكيميائى :</u>

1- تجهيز المحلول الكيميائى
2- معرفة خصائص المحلول الكيميائى
3- تشغيل الغسيل الكيميائى و إعادتها لمدة 30 دقيقة
4- وضع الأغشية فى وضع الأمتصاص لمدة تتراوح من ساعة الى 15 ساعة
5- إعادة ضخ كمية كبيرة من المحلول الكيميائى
6- شطف الأغشية بواسطة مياه محلاه و صرف اى شوائب من على سطح الأغشية
7- إعادة تشغيل وحدة التحلية و متابعة نتائج المياه المحلاه و معرفة مدى نجاح عملية الغسيل الكيميائى.

18.10.2 ترسيب كربونات على الأغشية

خطوات الغسيل الكيميائى الأتية مصممة على أساس وجود ترسيب كربونات على الأغشية

فى حالة حدوث ترسيب كربونات كالسيوم على سطح الغشاء يجب ان تكون درجة حرارة المحلول الكيميائى المستخدم فى عملية الغسيل اعلى من 35 درجة سيلزيوس

ثبات قيمة الرقم الهيدروجينى هو المؤشر الرئيسى على انتهاء عملية الغسيل الكيميائى

<u>خطوات الغسيل الكيميائى :</u>

1- تجهيز المحلول الكيميائى
2- معرفة خصائص المحلول الكيميائى
3- تشغيل عملية الغسيل الكيميائى و إعادة العملية لمدة 10 دقائق فى حالة عدم وجود تغيير فى لون المحلول. فى حالة وجود تغير فى لون المحلول يجب ان يتم صرف المحلول و إستبداله بمحلول جديد
4- وضع الأغشية فى وضع الأمتصاص من ساعة الى ساعتين و فى بعض الحالات الأخرى اتكون مدة الأمتصاص اكبر و لمتابعة عملية الأمتصاص يجب ملاحظة قيمة الرقم الهيدروجينى و تغيير المحلول الكيميائى إذا تطلب الأمر ذلك.
5- إعادة ضخ كمية كبيرة من المحلول الكيميائى

6- شطف الأغشية بواسطة مياه محلاه و صرف اى شوائب من على سطح الأغشية
7- إعادة تشغيل وحدة التحلية و متابعة نتائج المياه المحلاه و معرفة مدى نجاح عملية الغسيل الكيميائى.

18.10.3 ترسيب الحديد على الأغشية

خطوات الغسيل الكيميائى الأتية مصممة على أساس وجود ترسيب حديد على الأغشية

1- تجهيز المحلول الكيميائى
2- معرفة خصائص المحلول الكيميائى
3- تشغيل عملية الغسيل الكيميائى و إعادتها لفترة معينة من الوقت
4- وضع الأغسية فى وضع الأمتصاص من ساعتين الى 4 ساعات
5- إعادة ضخ كمية كبيرة من المحلول الكيميائى
6- شطف الأغشية بواسطة مياه محلاه و صرف اى شوائب من على سطح الأغشية
7- إعادة تشغيل وحدة التحلية و متابعة نتائج المياه المحلاه و معرفة مدى نجاح عملية الغسيل الكيميائى

يجب تهوية الغرفة جيدا حيث ان هيدروسلفيت صوديوم له رائحة نفاذة

من الممكن حدوث تغيير فى لون المحلول الكيميائى الى اللون الأسود , اللون البنى أو اللون الأصفر اثناء عملية الغسيل الكيميائى و هذا امر طبيعى فى هذه الحالة من الترسيب

عند حدوث تغيير فى لون المحلول يرجى تغييره و وضع محلول جديد

تكرار عملية الغسيل الكيميائى و عملية الأمتصاص يتوقف على شدة الترسيب

18.10.4 ترسيب عضوي على الأغشية

الخطوات الآتية تتوقف على نوع الترسيب العضوي على سطح الأغشية من أمثلة الترسيب العضوي

1- الدبالية.
2- احماض السفولفيك.
3- الزيوت.

<u>خطوات الغسيل الكيميائي :</u>

1- تجهيز المحلول الكيميائي
2- معرفة خصائص المحلول الكيميائي

3- تشغيل عملية الغسيل الكيميائي و إعادتها لمدة 30 دقيقة . وإذا حدث تغييرفي لون المحلول الكيميائي يجب صرف هذا المحلول و إستبداله بمحلول كيميائي جديد .
4- وضع الأغشية في وضع الإمتصاص
5- إعادة ضخ كمية كبيرة من المحلول الكيميائي
6- شطف الأغشية بواسطة مياه محلاه و صرف اى شوائب من على سطح الأغشية
7- تكرار الخطوات من 2 إلى 6 مع وضع المحلول الكيميائي حمض الهيدروكلوريك و في هذة الحالة تكون قيمة الأس الهيدروجيني 2
8- إعادة تشغيل وحدة التحلية و متابعة نتائج المياه المحلاه و معرفة مدى نجاح عملية الغسيل الكيميائى

لضمان إتمام عملية الغسيل الكيميائي بكفاءة عالية يجب أن تكون درجة حرارة المحلول اعلى من 25 درجة سليزيوس

رفع درجة حرارة المحلول الكيميائي تساعد على إزالة الترسبات العضوية منعلى سطح الأغشية

يعتبر ترسيب الزيوت على سطح الأغشية من الترسيبات العضوية القوية بحيث يصعب إزالته و لإزالة ترسيب الزيوت يفضل إجراء العديد من التجارب المختلفة للإمتصاص على الأغشية للوصول إلى أفضل الحلول .

إذا كان الترسيب على سطح الأغشية ناتج عن حقن جرعة زائدة من الشبة في مياة التغذية .فيجب أن تتم عملية الغسيل الكيميائي بشكل عكسي حتى تكون أكثر كفاءة حيث يتم عمل غسيل قلوي و بعد ذلك غسيل حمضي و تكرار تلك االعملية أكثر من مرة حتى نستطيع تحديد أي نوع من الغسيل يستطيع إزالة اكبر قدر من الترسيب.

18.10.5 ترسيب مواد بيولوجية على سطح الأغشية

الخطوات الآتية تتوقف على نوع ترسيب المواد البيولوجية على سطح الأغشية

<u>خطوات الغسيل الكيميائي :</u>

1- تجهيز المحلول الكيميائى
2- معرفة خصائص المحلول الكيميائى
3- تشغيل عملية الغسيل الكيميائي و إعادتها فترة من الزمن .
4- وضع الأغشية في وضع الإمتصاص فترة من الزمن
5- إعادة ضخ كمية كبيرة من المحلول الكيميائي
6- شطف الأغشية بواسطة مياه محلاه و صرف اى شوائب من على سطح الأغشية
7- إعادة تشغيل وحدة التحلية و متابعة نتائج المياه المحلاه و معرفة مدى نجاح عملية الغسيل الكيميائى

بعد الإنتهاء من عملية الغسيل الكيميائي من المفضل إضافة عملية غسيل كيميائي آخر لإزالة و تنظيف سطح الأغشية من أي آثار متبقية من الترسيب البيولوجي و هذا يساعد على جعل الأغشية تعمل بصورة جيدة و يزيد من الفترة ما بين كل عملية غسيل كيميائي

18.10.6 أهمية الغسيل الكيميائي

في حالة عدم حدوث عملية الغسيل الكيميائي في الوقت المناسب يحدث الآتي :

1. يتضاعف فرق الضغط داخل الأغشية
2. إنتاجية المياة المحلاة من الأغشية تقل للنصف
3. تقليل نسبة نجاح الغسيل الكيميائي بعد ذلك

و لذلك عند حدوث أي تغير على عمل الأغشية و احتياجها إلى غسيل كيميائي يجب ان تتم عملية الغسيل بأسرع وقت و يمكن تجربة اكثر من طريقة للوصول الى الطريقة المثلى لتنظيف الأغشية من اي راسب .

18.11 التعقيم الجيد لأغشية التناضح العكسي و التنقية عالية الجودة

18.11.1 مقدمة

نظام التعقيم لأغشية التعقيم العالي الجودة و التناضح العكسي كما هو موضح في هذا الفصل هو تطبيق حلول فعالة او عن طريق المياة الساخنة لهذه الأغشية عندما يكون نظام التشغيل مغلقا اي انه ليس في وضع الإنتاج و يتم حقن الكيماويات البيولوجية أثناء التشغيل حتى لا يحدث ترسيب بيولوجي.
و يتم تعقيم أنظمة الأغشية من اجل الحفاظ على عدد من الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش على مستوى منخفض و لهذا يوجد سببان رئيسيان لعملية التعقيم .

1- <u>في حالة التشغيل الطبيعي :</u>

الكائنات الدقيقة قد تنمو لتصبح بيوفيلم على سطح الاغشية و يتم الترسيب على سطح الاغشية المغذية و يتسبب بحدوث ترسيب بيولوجي . و طرق التعقيم العادية هو جزء من استراتيجية للسيطرة على الترسيب البيولوجي.

الترسيب البيولوجي يشكل تهديدا رئيسيا لنظام التشغيل و طرق التعقيم التقليدية تساعد على تقليل معدل نمو الترسيب البيولوجي لتجنب مشاكل التشغيل .

في أنظمة التناضح العكسي خلال نشاط الترسيب البيولوجي يمكن ان تظهر البيوفيلم في غضون من 3÷5 ايام بعد التلقيح مع الكائنات القابلة للحياة . و بالتالي فإن التردد الأكثر شيوعا من إجراء التعقيم يكون في غضون من 3÷5 أيام خلال ذروة النشاط البيولوجي في فصل الصيف و عن كل 7 ايام في فصل الشتاء . التردد الأمثل لتكون عملية التعقيم في المكان المثالي يجب ان تحددها الخصائص التشغيلية لأنظمة التناضح العكسي.

2- <u>جودة المياة المحلاة :</u>

تستخدم فى بعض التطبيقات منها على سبيل المثال الصناعات الغذائية والدوائية. تتطلب المياه المنتجة جودة عالية جدا من حيث التنقية و التعقيم و عدم وجود ملوثات بيولوجية و ذلك حيث ان أغشية التناضح العكسي و التنقية فائقة الجودة ترفض مرور الملوثات البيولوجية .

عند حدوث اي خلل في في نظام الأغشية فإن هذا يؤدي الى ان تصبح المياة المحلاة ملوثة . و خطر التلوث يكون اعلى بكثير من خطر البيوفيلم و ذلك من حيث خط التغذية . و لهذا يجب ان تبقي حالة الأغشية مستقرة .و طرق التعقيم التقليدية يجب ان تتم في هذة التطبيقات للحصول على الجودة الميكروبيولوجية للمياة المحلاة و ذلك حتي لو واجهنا اي مشاكل تشغيلية .

18.11.2 بروكسيد الهيدروجين و حمض البروكسيد

استخدم بيروكسيد الهيدروجين أو خليط من بيروكسيد الهيدروجين وحامض البيروكسي بنجاح لعلاج أغشية التناضح العكسي الملوثة بيولوجيا .

هناك نوعان من العوامل التي تؤثر بشكل كبير على معدل هجوم بيروكسيد الهيدروجين على الغشاء هما درجة الحرارة والحديد.

و وجود الحديد و المعادن الأخري التي تمر بمرحلة انتقالية بالتزامن مع محلول بروكسيد الهيدروجين يمكن أيضا ان يسبب تدهور للغشاء . و قد تم اختبار عينات من بعض الأغشية باستخدام محلول 0.15% من بروكسيد الهيدروجين. بعد مرور 150 ساعة يبدأ مرور الملح للغشاء بزيادة كبيرة جدا. التعرض المستمر في هذا التركيز قد تضر في نهاية المطاف الغشاء. بدلا من ذلك، فمن المستحسن استخدام التشغيل الدوري .

<u>لأنظمة التناضح العكسي الملوثة بيولوجيا يوصى الإجراء التالي لتطبيق حلول بيروكسيد الهيدروجين:</u>

1- يجب إزالة أي نوع من الرواسب على الغشاء أو اى شوائب اخرى بإستخدام غسيل قلوي قبل التعقيم. إزالة هذه الرواسب سوف يضاعف درجة التعقيم . بعد عملية الغسيل القلوي، يتم عملية شطف للأغشية بإستخدام المياه المحلاه .
2- تنظيف سطح الأغشية بإستخدام عملية غسيل حمضى لإزالة الحديد من على سطح الغشاء.بعد ذلك يتم عملية شطف للأغشية بإستخدام المياه المحلاه .
3- غمر الأغشية بمحلول كيميائى عبارة عن بيروكسيد الهيدروجين تركيز 0.2 % مضاف الى المياه المحلاه في درجة حرارة أقل من 77 درجة فهرنهايت (25 درجة مئوية) لمدة 20 دقيقة. عندما تكون قيمة الأس الهيدروجيني من 3-4 فإن هذا يعطي نتائج أفضل وعمر أطول الغشاء.

18.11.3 التعقيم بالكلور و المنتجات البيولوجية الأخري

لا ينصح بإستخدام الكلور الخام و ثانى أكسيد الكلور فى تعقيم الأغشية.المبيدات الحيوية الرباعية والمركبات الفينوليةتقلل من إنتاجية الأغشية و لذلك لا ينصح بإستخدامها كعوامل بيولوجية فى عمليات التعقيم.

18.11.4 التعقيم الحراري

يعتبر التعقيم الحراري هو الأسلوب المفضل في التطبيقات الغذائية والدوائية .مزايا الماء الساخن كعامل من عوامل التعقيم هي :

1- تصل إلى مناطق لا تصل اليها المواد الكيميائية
2- أبسط لمراقبة الحرارة من التركيزات الكيميائية
3- أسهل لإثبات التوزيع الكامل للحرارة
4- لا حاجة لشطف من المواد الكيميائية
5- لا حاجة لتخزين المواد الكيميائية
6- يقلل قضايا التخلص من النفايات
7- لا حاجة للموافقة على المواد الكيميائية

و تتكون خطوات التعقيم الحراري من الآتي :

1- شطف المياة المركزة و ذلك باستخدام المياة المحلاة ذات الضغط القليل ومعدل التدفق القليل.
2- إعادة تدوير المياة الدافئة (اقل من 45 درجة مئوية) العابرة للأغشية من خلال ضغط قليل جدا (1.5 بار) مع اعلى ضغط تدفق يمكن ان يصل الى (3 بار).
3- رفع درجة حرارة المياه لتصل درجة حرارتها الى 80 درجة مئوية.
4- الحفاظ على الضغط النافذ للغشاء (1.7 بار) عندما يتم تغذيته بالمياة الدافئة او المياة الساخنة درجة (45 درجة مئوية او اكثر).
5- الحفاظ على درجة الحرارة لمدة من 60-90 دقيقة.
6- التبريد الكامل للنظام بدرجة حرارة 45 درجة مئوية أو أقل.
7- يتم شطف المياة المركزة الى ان تصل الى اقل ضغط ممكن للأغشية (1.7 بار) و ذلك مع اعلى ضغط تدفق لمياة المصدر (3 بار).

19 جدول معاني الكلمات والمصطلحات العلمية للتحلية (عربي / إنجليزي)

الكلمة (المصطلح) بالعربي	الترجمة الإنجليزية	توضيح مختصر
حـرف (أ)		
الغسيل العكسي	Back Wash	هو إنعكاس اتجاه سريان المائع خلال المرشحات وغيرها ، بغرض غسل المرشح أو المكونة .
انضغاط الأغشية	Membrane Compaction	زيادة في كثافة الأغشية نتيجة زيادة الضغط ودرجة الحرارة علي الأغشية ويسبب ذلك ضيق في مسامات الأغشية وقلة معدل الإنتاج ومن ثم الحاجة لزيادة الضغط من مضخة الضغط المرتفع
الترشيح	Filtration	هي فصل المواد العالقة (وبعض المواد الذائبة) ويختلف دقته من ترشيح عادي إلى ترشيح ميكروني (Micro) إلى ترشيح دقيق (Ultra) إلى ترشيح متناهي الدقة (Nano) .
القلوية	Alkalinity	وجود أيونات الهيدروكسيد (OH^-) ، الكربونات (CO_3^{--}) أو البيكربونات (HCO_3) في الماء .
البيئة	Environment	ما يحيط بالإنسان من هواء ماء ، أرض يابسة
الملوحة	Salinity	مجموعة العناصر غير العضوية الذائبة بالماء وتقاس بوحدات الجزء في المليون أو الجرام لكل كيلو جرام ماء .
الماء الثقيل	Heavy Water (Deuterium Oxide-D_2O)	الماء المعروف لنا هو يسمي بالماء الخفيف (H_2O) ، ويحتوي كل 700جزء منه علي جزء واحد من عنصر الماء الثقيل – أكسيد الديوتريوم (D_2O) ، والديوتيريوم (D_2) هو نظير للهيدروجين (H_2) لكن ذرته تحتوي علي نيوترون بالإضافة إلي البرتون الموجود في ذرة الهيدروجين لذا فهو أثقل منه . ومن ثم سمي بالماء الثقيل .
اليورانيوم	Uranium	مادة ثقيلة ، غير مستقرة ، يمكن انشطارها واستخدامها في توليد الطاقة النووية . وهناك يورانيوم 235 ، 233 يمكن شطره مباشرة لتوليد الطاقة (وهو نسبة بسيطة في الطبيعة (0.07 %) بينما النسبة الكبيرة (99.3 %) هو يورانيوم خامل (238) يلزمه امتصاص نيوترون ليتحول إلى عنصر نشط هو البلوتونيوم 239 ، المستخدم في الأسلحة والطاقة النووية .
الريزن	Reisn	مواد راتنجية ، علي صورة كروية صغيرة (مليمترات) توضع داخل المبادل الأيوني Exchanges –Lox
أسموزي	Osmotic	هي نفاذ المحلول المخفف إلي المحلول المركز من خلال غشاء شبه نفاذ لإحداث التوازن في التركيز .
الشبه (كبريتات الألمونيوم)	Coaculatnt (Aluminum Sulfate)	يستخدم كمساعد لعمليات الترويق ، حيث تساعد علي تجميع المواد العالقة الدقيقة إلي حبيبات أكبر يمكن ترسيبها في أحواض الترسيب .
الضغط الأسموزي	Osmotic Pressure	هو الضغط الذي يقف عنده نفاذ المحلول المخفف إلي المحلول المركز من خلال غشاء شبه نفاذ .
الرقم (الأس) الهيدروجيني	pH	هر الرقم الذي يحدد طبيعة السائل (المحلول) ، من حيث الحامضية أو القلوية وهو لوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين . أقل من 7 حامضي ، يساوي من 7 متعادل ، أكبر من 7 قلوي .
إشعاع الشمس	Solar Radiation	يقاس شدة الإشعاع الشمسي بالطاقة (القدرة) الساقطة علي المتر المربع (W/m^2)، ويختلف من صفر عند الشروق إلي أقصي قيمة عند منتصف النهار (حوالي 600 – 1000 وات/ م2) حتى الصفر عند الغروب.
إضافات	Additives	تضاف عناصر ومركبات كيماوية لأغراض محددة مثل منع التآكل ، ومنع الترسبات ، وغيرها .

الكلمة (المصطلح) بالعربي	الترجمة الإنجليزية	توضيح مختصر
إضافات	Additives	تضاف عناصر ومركبات كيماوية لأغراض محددة مثل منع التآكل ، ومنع الترسبات ، وغيرها .
التقطير	Distillation	هي عملية التحلية الحرارية بإستخدام التبخير بالتكثيف
أغشية	Membrane	هي مواد خاصة (مثل مركبات السيليور والبوليمر) ، لفصل العناصر الذائبة في المحلول .
أغشية شبه نفاذة	Semi Permeable Membrane	هي أغشية تسمح بنفاذ بعض العناصر دون الأخري ، وتستخدم في عملية التحلية .
الإنتاجية	Productivity	معدل الإنتاج بالساعة أو اليوم سواء معدل حجمي (مثل م^3 / اليوم) أو كتلي (طن / الساعة) .
إنتشار	Diffusion	هي إنتقال العناصر خلال المحاليل نتيجة فرق التركيز .
إنتقال الحرارة	Heal Transfer	تنتقل الحرارة حسب فرق درجة الحرارة من درجة الحرارة الأعلى إلي الأقل سواء بالتوصيل (الإنتشار) أو بالحمل أو بالإشعاع .
انتقال المادة	Mass Transfer	تنقل المادة حسب فرق درجة التركيز من التركيز الأعلى إلى الأقل سواء بالإنتشار أو بالحمل
انضغاط (ضغط البخار)	Vapor Compression	أحد طرق التحلية الحرارية والتي تستخدم البخار في المراحل الأخيرة للوحدة كمصدر حراري بعد ضغطه (حراريا أو ميكانيكيا) .
التبخر الومضي متعدد المراحل	Multi Stage Flash (MSF)	من أشهر طرق التحلية الحرارية وأكثرها إستخداما خاصة في المحطات الكبيرة . وتستخدم التبخير الومضي علي مراحل متعدد للاستفادة القصوى من الطاقة التي يحملها المحلول الملحي .
التبخير متعدد التأثير	Multi (Multiple Effect (ME or MED)	يستخدم عملية الغليان لتبخير المحلول الملحي ، ويستخدم البخار المتولد في كل مرحلة كمصدر حراري لإنتاج بخار أخر في مرحلة تالية (عند ضغط أقل) ، وهكذا .
التناضح العكسي	Reverse Osmosis (RO)	من أشهر طرق التحلية بالأغشية ، وتستخدم الضغط المرتفع لدفع (فصل) الماء العذب من الماء المالح من خلال أغشية شبه نفاذة .
الديلزة (الفرز) الكهربي	Electro – Dailysis (ED)	تستخدم فرق الجهد الكهربي لجذب الأملاح بعيدا عن المحلول مما يخففه إلي ماء عذب .
الديلزة (الفرز) الكهربي المعكوس	Electro – Dailysis Reverse (EDR)	مثل الديلزة الكهربية لكن تتغير الأقطاب الكهربية (السالبة والموجبة) لتعكس عملية فصل الأملاح لتقلل من إمكانية ترسب الأملاح علي أسطح الأغشية .
التبادل الأيوني	Lon Exchange	يستخدم مواد راتنجية (Rasin) لتتبادل الأيونات مع الأيونات الذائبة بالمحلول مما يخفق المحلول الملحي إلي ماء عذب وهناك مبادلات أيونية موجبة لامتصاص الأيونات الموجبة Cation وهناك مبادلات أيونية مختلطة (Mixed Bed) لإمتصاص الأيونات السالبة الموجبة معا .
الحرارة الكامنة	Latent Heal	هي حرارة تضاف (أو تسحب) عند ثبوت درجة الحرارة لتحويل السائل إلي بخار (أو بخار إلي سائل) . وهي كامنة أي غير محسوسة لعدم وجود أجهزة تحس بها (مثل الترمومترات) ونفس المعني في حالة تحول السائل إلي صلب (تجمد) أو صلب إلي سائل (انصهار) وتقاس بوحدات (كجول / كجم) .
الحرارة المحسوسة	Sensible Heat	يمكن الإحساس بها حيث ترتفع (أو تنخفض) درجة الحرارة عند إضافة (أو سحب) كمية من الحرارة .
الحرارة النوعية	Specific Heat	هي أحد الخواص الفيزيائية للمواد وتساوي كمية الحرارة اللازمة لرفع (أو خفض) 1 كجم من المادة 1 درجة مئوية ، وتساوي للماء 4.18 كجول / كجم . م)

الكلمة (المصطلح) بالعربي	الترجمة الإنجليزية	توضيح مختصر
الضغط الجوي	Atmospheric Pressure	هو وزن عمود الغازات للغلاف الجوي ويساوي 1.0123 بار عند سطح البحر ويزيد كلما انخفاضنا عن سطح الماء .
أداء	Performance	حالة تشغيل المكونات والنظم بالنسبة لما هو مطلوب منها تصميمها .
استعادة الحرارة	Heat Recovery	استعادتها وإعادة استخدامها للإستفادة منها .
الأملاح الذائبة	Dissolved Solids	تتكون من مجموعة من الأيونات الموجبة والسالبة مثل الأيونات الموجبة (الكاتيونات) كالسيوم Calcium (Ca) صوديوم Sodium (Na) ماغنسيوم Magnisium (Mg) البوتاسيوم Potasioum (K) الأيونات السالبة (الأيفونات) كلوريدات Chloride (Cl) كربونات Carbonate (CO_3) بيكربونات Bi - Carbonate (HCO_3) كبريتات Sulfate (SO_4)
التوصيلة الكهربية	Electric Conductivity	طريقة قياس ملوحة المياه فكلما زادت ملوحة الماء زادت توصيله للكهرباء . ومقياس التوصيلة الكهربية هو ميكرموهو / سم أو ميكرو سيمتر / سم والتوصيلة الكهربية حوالي ضعف مجموعة المادة الصلبة الذائبة لماء الشرب .
الدورة المائية	Hydrological Cycle	هي مصدر الماء العذب للبشرية كلها بتبخر مياهـ البحار والمحيطات إلي سحب ثم نزول السحب كماء عذب وعودته للبحر ثانية .
إعادة الدوران	Recirculation	يعاد دوران جزء من المحلول للإستفادة بما يحتويه من مواد كيماوية وتقليل بذلك معدل مياه التغذية اللازمة لوحدة التحلية .
أحادي المرور (اتجاه واحد)	Once Through	نظام إدخال ماء التغذية ثم مروره بوحدة التحلية ثم طرده كله وإدخال كمية جديدة من ماء التغذية .
أمطار	Rain	قطرات الماء المكثف من السحاب
السحب	Clouds	بخار ماء متكثف علي صورة رذاذ (قطرات صغيرة جدا يمكن للهواء حملها) لونها أبيض قطني (فالبخار ليس له لون) ، إذا قرب من سطح الأرض سمي ضباب أو شبورة Fog.
الحجم	Volume	وحدة قياسها اللتر أو المتر المكعب
الكتلة	Mass	وحدة قياسها الكجم أو الطن
الغازات	Gases	وجودها ذائبة في الماء تسبب التآكل للوحدات الحرارية
العكارة	Turbidity	هي المواد الدقيقة والعالقة بالماء والتي تعكر صفاءه وتمنع (أو تكسر شعاع) مرور الضوء
الأيونات الموجبة	Cation	مثل الصوديوم ، والكالسيوم ، والمغنيسيوم ، . . . الخ . وتنجذب نحو القطب السالب (المهبط) .
الجمعية العالية لتحلية المياه	International Desalination Association (IDA)	جمعية تجمع في عضويتها الخبراء ، العلماء ، الشركات العالمية في مجال التحلية مركزها الرئيسي أمريكا .

الكلمة (المصطلح) بالعربي	الترجمة الإنجليزية	توضيح مختصر
الجمعية الأوربية لتحلية المياه	European Desalination Society (EDS)	جمعية أوربية لتحلية المياه مركزها الرئيسي بإيطاليا .
الجمعية المصرية لتحلية المياه	Egyptian Desalination Association (E D A)	أول جمعية مصرية لتحلية المياه تم إشهارها (وفي مقتبل نشاطها) مركزها الرئيسي بالقاهرة (مصر)
الجمعية الخليجية لعلوم وتكنولوجيا المياه	Water Science & Technology Association (WSTA)	جمعية تتبع دول مجلس التعاون الخليجي (GCC) لعلوم وتكنولوجيات المياه مركزها الرئيسي المنامة (البحرين)
أعلي درجة حرارة للمحلول	Top Brine Temperature (TBT)	أعلي درجة حرارة للمحلول الملحي في المحطات الحرارية وكلما زادت تحسن من إنتاجية وفعالية المحطة ، لكنها محددة بالترسبات الصلبة (مثل الكبريتات ، السيليكا) علي أسطح انتقال الحرارة .
المكونات الأساسية	Main Components	هي المكونات الداخلة مباشرة في عملية الإنتاج مثل المبخرات في الوحدات الحرارية ، والأغشية ومضخات الضغط العالي في وحدات الأغشية .
المكونات المساعدة	Auxiliary Components	هي المكونات الداخلة مباشرة في عملية الإنتاج مثل المبخرات في الوحدات الحرارية ، والأغشية ومضخات الضغط العالي في وحدات الأغشية
التقطير الغشائي	Membrane Distillation	هي طريقة تستخدم الطاقة الحرارية لتقطير الماء ، ومرور البخار (فقط) من خلال أغشية حرارية .
أغشية حرارية	Thermal Membrane	هي أغشية شبه نفاذة تسمح بمرور البخار (فقط)
إضافة كيماوية	Chemical Additives	هي إضافات لتحقيق أغراض محددة منها مثل منع الترسبات ، منع التآكل ، قتل الفطريات ، . . . الخ وقد تضاف قبل الوحدة (معالجة أولية) أو بعد الوحدة (معالجة نهائية) .
أيونات	Ions	ينقسم جزئي المركبات الذائبة في الماء إلي جسيمات ذات شحنة إما موجبة وإما سالبة تسمي كل منها أيونات .
الشعيرات الدقيقة المجوفة	Hollow Fine Fibers	شعيرات مثل شعر الرأس ، تصنع من مواد مثل أستيات السليلوز ،وتستخدم كأغشية شبه نفاذة لعملية التناضح العكسي .
إناء ضغط	Pressure Vessel	هي وعاء إسطواني يتحمل الضغط المرتفع ويحتوي علي مجموعة من وحدات الأغشية (Membrane Elements)في وحدات التناضح العكسي
اقتصاديات التحلية	Desalination Economics	تشمل الأسعار الابتدائية للوحدة وتكاليف التجهيزات والتشغيل والصيانة وعليه تكلفة إنتاج المتر المكعب من ماء التحلية .
الطاقة النووية	Nuclear Energy	هي الطاقة الناتجة عن انشطار ذرات ثقيلة مثل اليورانيوم ، أو اندماج ذرات مثل الهيليوم ، وذلك بغرض تحويل هذه الطاقة النووية بين النوايات إلي طاقة مفيدة للإنسان حرارية أو كهربية
حــــرف (ب)		
بخار التسخين	Heating Steam (Vapor)	الفرق بين الـ (Vapor) والـ Steam هو أن الأخير ذو ضغط ودرجة حرارة مرتفعة عن الأول ، ويستخدم بخار التسخين عادة كمصدر حراري لتسخين المحلول الملحي في المحطات الحرارية .

الكلمة (المصطلح) بالعربي	الترجمة الإنجليزية	توضيح مختصر
بخار محمص	Super Heated Steam	بخار تكون درجة حرارته أعلي من درجة الغليان (لنفس الضغط)
بخار مشبع	Seturated Steam	تكون درجة حرارته مساوية لدرجة الغليان
بخر (تبخر)	Vaporization	إنتقال بخار الماء من سطح الماء (عند درجة حرارة أقل من الغليان) بإنتقال المادة بالحمل (حركة الهواء) ، أو بالإنتشار
بلورات	Crystals	حينما يتجمد السائل ، يتحول إلي بلورات صلبة (نقية من الأملاح).
حـــرف (ت)		
تلوث البيئة	Environment Pollution	إدخال عناصر علي البيئة غير مرغوب فيها بحيث تؤثر سلبا علي الإنسان . والتلوث قد يكون للهواء ، أو الماء ، أو الغذاء . . أو غير ذلك .
تطهير (التعقيم)	Dis – Infection	إضافة مواد مثل الكلور لقتل الميكروبات والبكتريا الضارة والموجودة بالماء .
تحلية (إزالة ملوحة ، إعذاب /تعذيب)	Sesalination (Desalting)	فصل الماء العذب عن الملح (أو فصل الملح عن الماء العذب) في المحلول الملحي (كماء البحر أو الآبار) .
ترسبات (رواسب) (قشور) طرية	Fouling (soft Scale)	رواسب يمكن إزالتها بالطرق الميكانيكية والكيماوية أو بالحامض (المخفف) مثل رواسب المواد العالقة كالطمي والطحالب أو الذائبة مثل الكربونات .
ترسبات (رواسب) (قشور) صلبة	Hard Scale	ترسبات لا يمكن إزالتها بالطرق الميكانيكية والكيماوية أو بالحامض مثل رواسب الكبريتات ، والسيليكا .
تركيز	Concentration	هي نسبة تواجد الأملاح (والعناصر الأخرى) في الماء الذي يحتويها ، وتقاس بوحدات الجزء بالمليون (PPm) .
تجمد (تجميد)	Freezing	بانخفاض درجة الحرارة يتحول السائل إلي بلورات صلبة (نقية من الأملاح) .
تبخير	Evaporation	مثل عملية البخر لكن بعد وضع مصدر حراري لدفع عملية تحول السائل إلي بخار .
تبخير ومضي	Flashing	هي تبخير فجائي نتيجة تواجد ماء (سائل) عند درجة حرارة فوق التسخين ثم فجأة يوضع السائل في ضغط أقل من ضغط الغليان ، فيتحول جزء من السائل إلي بخار ، وتنخفض درجة حرارة السائل إلي درجة الغليان .
تبخير ومضي متعدد المراحل	Multi Stage Flash (MSF)	يستخدم عملية التبخير الومضي لتكوين البخار ، والذي يتكثف ليكون الماء العذب المنتج . وتتكون الوحدة من مجموعة من المراحل عند ضغط كل مرحلة أقل من المرحلة السابقة .
تبخير متعدد التأثير	Multi (Multiple) Effect (ME or MED)	يستخدم عملية الغليان لتبخير المحلول الملحي ويستخدم البخار المتولد في كل مرحلة حراري لإنتاج بخار آخر في مرحلة تالية) عند ضغط أقل (.
تآكل	Corrosion	عملية انهيار المعادن نتيجة تفاعلها مع المحلول (أو الوسط المحيط)
تخفيف	Dilution	زيادة نسبة الماء وخفض نسبة العناصر الأخرى .
تشبع	Saturation	تستخدم حراريا كبخار مشبع أي 100 % ، بخار ومحلوليا أي نسبة الأملاح وصلت إلي حد التشبع وأي زيادة تسبب في ترسب الأملاح .
تضاغط	Compaction	إذا زاد الضغط علي الأغشية مع الزمن رغبة في زيادة الإنتاج ، تنضغط الأغشية وتقل مسامها النفاذة للماء العذب مما يقلل الإنتاج .

الكلمة (المصطلح) بالعربي	الترجمة الإنجليزية	توضيح مختصر
تغذية	Feed	تغذية أي معدة أو مكونة أو نظام بالمصدر الأساسي مثل تغذية وحدة التحلية أو تغذية الغلايات البخارية بماء التغذية .
تفريغ (تخلخل)	Vacuum	خفض الضغط عن الضغط الجوي ومن ثم خفض درجة حرارة الغليان للسوائل .
تكثف / تكثيف	Condensation	تحول البخار إلي سائل بخفض درجة حرارته .
تناضح	Osmosis	نفاذ المحلول المخفف ، إلي المحلول المركز (من خلال غشاء) لإحداث التوازن في التركيز .
تنشيط	Re – Generation	تنشط المواد الراتنجية (Rasin) في أجهزة التبادل الأيوني بعد إستهلاك الأيونات منها لإعادتها إلي حالتها الطبيعية .
تهوية (تنفيس)	Venting	السماح بكمية من الغازات بالهروب إلي الجو الخارجي للتخلص منها أو لتخفيف الضغط .
تشغيل	Operation	عملية الإنتاج مع متابعة أداء المعدات .
تآكل	Corrosion	عملية انهيار المعادن نتيجة تفاعلها مع المحلول (أو الوسط المحيط)
توليد القدرة (الكهربية)	Power Generation	يستخدم طرق عدة لتوليد الطاقة الكهربية في محطات توليد الكهرباء (سواء حرارية أو نووية أو شمسية . .)
تبقي (تخلف)	Residual	مثل حالة إضافة الكلور للتعقيم ، مثلا يلزم إزالة النسبة المتبقية قبل دخولها وحدة التحلية حتي لا يؤثر سلبا علي الأغشية .
تحويل	Conversion	عملية تحويل مادة أو طاقة إلي صورة أخري للإستخدام .
تركيز	Concentration	هي نسبة تواجد الأملاح (والعناصر الاخري) في الماء الذي يحتويها ، وتقاس بوحدات الجزء بالمليون
ترشيح	Filtration	ترشيح
ترشيح دقيق (ميكروني)	Micro- Filtration	ترشيح دقيق(ميكروني)
ترشيح فائق الدقة	Ultra Filtrate	عملية تصفية الماء من المواد العالقة الدقيقة كالفطريات في حدود من 1- 0.1 ميكرون (100-100 انجسترم)
ترشيح متناهي الدقة	Nano Filtrate	هي تصفية الماء من المواد العالقة الدقيقة جدا جدا كالأيونات ثنائية التكافؤ ، والألوان ، والروائح في حدود من 10 إلي 100 أنجسترم)
حــــرف (ج)		
جزء في المليون	Part par Million	هي وحدة قياس الملوحة (والعناصر الأخري) في المحلول
جودة المياهـ	Water Quality	
حــــرف (ح)		
حامضي	Acidity	ارتفاع كمية أيونات الهيدروجين في الماء ومن ثم إنخفاض قيم الأس (الرقم) الهيدروجيني عن رقم 7 .
حوض تهوية	Aeration Tank	تستخدم في وحدات معالجة الصرف الصحي ، حيث يستخدم الهواء لتنشيط البكتريا التي تتغذي علي المخلفات الصحية وتحولها إلي رواسب يمكن ترسيبها أو ترشيحها .
حرارة	Heat	صورة من صور الطاقة تسبب السخونة
حرارة التبخير	Evaporation Heat	هي كمية الحرارة اللازمة لتبخير كمية من السائل
حديد صلب	Stainless Steel	سبائك الحديد المقاومة للتأكل مثل الصلب – 316 L

الكلمة (المصطلح) بالعربي	الترجمة الإنجليزية	توضيح مختصر
حد الأكسجين الحيوي	Biological Oxygen Demand (BOD)	هو كمية الأكسجين المستخدم لإستهلاك المواد العضوية واللازمة للمعالجة البيولوجية للمياه .
حصة الفرد	Per Capita	نصيب الفرد (في مجتمع) من مادة أو دخل أو منتج أو مصدر طبيعي.
حمأة	Sludge	النواتج الصلبة من عملية معالجة الصرف الصحي
حــــرف (خ)		
خلية	Cell	يستخدم التعبير في وحدات الديلزة الكهربية حيث تكون الوحدة من عدد من الخلايا ، وكل خلية عبارة عن أغشية يمر من خلالها قناة المحلول المركز وقناة الماء المنتج
خيط مجوف	Hollow Fiber	هي خيوط مجوفة مثل شعر الرأس يستخدم في صنع الأغشية التناضح العكسي .
خواص	Properties	كل شئ له خواص كيميائية وفيزيائية ، . . . الخ تحدد إمكانية أداءه لعمل ما .
حــــرف (د)		
درجة الغليان	BoiLing Temperature	هي درجة الحراري التي يغلي عندها الماء وتختلف حسب الضغط فهي للماء تكون 100 م عند الضغط الجوي وتساوي 180 م عند ضغط 10 جوي وتساوي فقط 46م عند عشر الضغط الجوي .
ديلزة (فرز)	Dialysis	هي عملية فرز (فصل) أو تخفيف المحلول ، وذلك بفصل الأملاح عنه وجذبها عن طريق أقطاب كهربية .
حــــرف (ر)		
رغاوي (رغوة)	Foam	هي شوائب من مواد عضوية وغير عضوية تتكون علي أسطح المياه
رواسب	Deposits	رواسب طرية كالطمي وقشور الكربونات ، ورواسب صلبة كقشور الكبريتات ، والسيليكا
حــــرف (س)		
سطح	Surface	مثل أسطح إنتقال الحرارة وأسطح الأغشية
سبائك النحاس	Copper Alloys	تستخدم لجودة إنتقالها للحرارة وشدة مقاومتها للتأكل مثل سبائك النحاس / النيكل 90 / 10 ، 30/70
سعة	Capacity	مثل السعة الحرارية Thermal Capacity ، والسعة الأنتاجية للوحدة Production Capacity
حــــرف (ش)		
شبه نفاذ	Semi Permeable	أغشية تسمح بمرور عناصر دو أخري
حــــرف (ص)		
صيانة	Maintenance	المحافظة علي المعدات بتغيير التالف منها ، وتجهيزها للتشغيل
حــــرف (ض)		
ضغط البخار	Vapor Pressure	هو الضغط الذي يتحدد عنده درجة غليان السائل
ضاغط	Compressor	ألة دوارة لضغط الغازات والأبخرة .

الكلمة (المصطلح) بالعربي	الترجمة الإنجليزية	توضيح مختصر
حـــرف (ط)		
طارد بخاري	Steam Ejector	يستخدم لسحب الغازات أو لضغط الأبخرة والغازات (لطردها للجو) ويستخدم نظرية تحويل فرق السرعة إلي تخلخل فتسحب بها الغازات ثم تضغط .
طاقة شمسية	Solar Energy	تستخدم الإشعاعات الحرارية والضوئية لتحويلها إلي طاقة (حرارية أو كهربية) يمكن الإستفادة منها .
طاقة نووية	Nuclear Energy	تستفيد من ظاهرة إنشطار عناصر طبيعية ثقيلة مثل اليورانيوم وتوليد حرارة وخروج جسيمات مثل النيوترونات وأشعة الفا وبيتا جاما للإستفادة منها في حياة الأنسان سليما أو عسكريا .
طاقة الرياح	Wind Energy	تستخدم حركة الهواء لدفع آلات دوارة Wind Mills لتحويلها إلي طاقة حركية لإدارة مكونات مثل المضخات والمولدات الكهربية وغيرها .
طلاء	Coating	يطلي المواد المعدنية بمواد خاصة لمنع تأكلها .
طرد الحرارة	Heat Rejection	للتوازن الحراري اللازم في أية مكونة أو منظومة ، يلزم طرد كمية مساوية من الحرارة الداخلة لكنها عن مستوي (درجة حرارة) أقل .
طرق تجارية	Commercial Methods	تكنولوجيات ما زالت غير منافسة فنيا وإقتصاديا للتصنع علي المستوي التجاري .
طرق أبحاث	Research Methods	تكنولوجيات ما زالت غير منافسة فنيا وإقتصاديا للتصنع علي المستوي التجاري
طرق التجميد	Freezing Methods	أحد الطرق الحرارية حيث تبرد الماء المالح فتجمد منه بللورات مياه عذبة يمكن فصل إذابتها للحصول علي الماء
طارد (مزيل) الغازات	Deaerator	جهاز يستخدم عملية التذرير والتسخين لطرد الغازات الذائبة في مياه التغذية .
طاقة بديلة	Alternative Energy	هي الطاقة البديلة عن الوقود الحفري (الهيدركربون كالفحم ،البترول ، الغاز الطبيعي) وقد تكون طاقة متجددة مثل (الشمس والرياح) أو غير متجددة كالطاقة النووية
طاقة متجددة	Renewable Energy	هي الطاقات التي لا تنضب طالما هناك حياة علي الأرض كالطاقة الشمسية ، وطاقة الرياح ، والمواد العضوية وغيرها .
حـــرف (ع)		
عسر الماء الكلي	Total Hardness	مجموع تركيز أيونات الكالسيوم والمغنسيوم (بالجزء في المليون)
عسر الماء الدائم	Permanent Hardness	هو عسر الكبريتات وكلوريدات ونترات الكالسيوم ، و/أو المغنسيوم ، ويزال بالتسخين
عسر الماء المؤقت	Temporary Hadmess	هو عسر بيكربونات الكالسيوم و/أو المغنسيوم ، ويزال بالتسخين
عكارة	Turbidity	هي المواد الدقيقة العالقة بالماء وتقاس بوحدات Number Of Turbidity Units (NTU)
عسر الماء	Water Hardness	وجود مركبات مثل الكالسيوم والمغنسيوم التي تقلل من رغوة الصابون بالماء وتوجد بنسبة من 1 إلي أكثر من 180 جزء في المليون
حـــرف (غ)		
غسيل عكسي	Back Wash	عمليات غسيل المرشحات والمبادلات الأيونية وغيرها حيث يضخ ماء نقي في إتجاه معاكس للمرور الطبيعي لطرد أية عوالق تجمعت أثناء التشغيل

الكلمة (المصطلح) بالعربي	الترجمة الإنجليزية	توضيح مختصر
غليان	Boiling	هي عملية تبخير الماء (السوائل) علي أسطح التسخين وتحول الماء إلي فقاعات من البخار ، تصعد وتنفصل عند سطح الماء .
غرفة	Chamber	مثل غرفة لتبخر الومضي
غازات ذائبة	Dissolved Gases	مثل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون والتي يجب التخلص منها الدخول للوحدات (خاصة الحرارية) حتي لا تساعد علي التآكل ، وتؤثر علي ضغط الغرف .
غلاية (مرجل) (مولد بخار)	Boiler (Steam Generator)	يستخدم لتحويل الماء إلي بخار عن طريق عملية الغليان
حـــرف (ف)		
فاصل الرذاذ	Demister	(Mist) هو رذاذ الماء . يحمل جزئيا مع البخار مما يلوثه بما يحمله من أملاح ومعادن . لذا يستخدم الفاصل للحصول علي بخار نقي .
فتحة ضيقة خانقة	Orifice	تستخدم لقياس معدل السريان ، وكذلك لخفض السريان وخلق فرق ضغط قبل وبعد الفتحة الضيقة (نسبيا)
فعالية	Effectiveness	حالة الإستفادة من الطاقة ، بالنسبة لما هو داخل إلي الوحدة من طاقة بنفس صورتها .
حـــرف (ق)		
قلوي	Alkaline	رقم الهيدروجين أكثر من 7
قطب موجب (أنود / مصعد)	Anode	أقطاب كهربية موجبة تجتذب أيونات العناصر السالبة
قطب سالب (كاثود / مهبط)	Cathode	أقطاب كهربية سالبة تجتذب أيونات العناصر الموجبة
كربون نشط	Activated Carbon	كربون معالج خاص يستخدم لإزالة الكلور الزائد والمواد العضوية ، والروائح .
كفاءة	Efficiency	حالة الإستفادة من الطاقة بالنسبة لما هو مطلوب منها تصميما ، وتساوي كمية الطاقة الناتجة إلي الطاقة الداخلية .
حـــرف (م)		
مصدر ماء(غير صالح)	Raw Water	ماء نهر ، ترعة ، بحيرة ، بئر ، بحر يكون هو مصدر الماء لوحدات المعالجة أو التحلية
مقطر شمسي	Solar Still	عملية محاكاة للدورة المائية الطبيعية في جهاز صغير يستخدم الطاقة الشمسية للتبخير (والتعقيم أيضا) .
محلول ملحي	Brine	ماء مالح تركيزه أعلي من تركيز ماء التغذية .
ملوحة	Salinity	تركيز الأملاح في الماء يحددها نسبة الأملاح في المحلول
مراقبة (متابعة)	Monitoring	مراقبة ، ومتابعة أداء المكونات والنظم من خلال أجهزة القياس ، سواء في الموقع أو من غرفة التحكم Control Room .
منطقة	Section	مجموعة من المراحل لها نفس الخواص
معايرة	Calibration	للتأكد من دقة الأجهزة المستخدمة للقياس
مرحلة	Stage	غرفة تبخر، تحتوي علي الماء المتبخر والبخار والمكثف
ماء خفيف الملوحة(بئر)	Brackish Water	هو ماء خفيف الملوحة من 1000 إلي 10.000 جزء في المليون) ويوجد بالأبار ، ومصارف المياه الزراعية وغيرها .

الكلمة (المصطلح) بالعربي	الترجمة الإنجليزية	توضيح مختصر
ماء البحر	Sea Water	ماء مالح ، ملوحته أكبر من ملوحة ماء البئر ، أعلي من 30.000 جزء في المليون .
ماء التبريد	Cooling Water	يستخدم لطرد الحرارة من الوحدة
ماء التعويض	Mack UP Water	لتغذية الوحدة بماء يعوض ما خرج منها علي صورة ماء منتج أو صرف مطرود .
ماء منتج	Product Water	الماء العذب المنتج من وحدة التحلية
ماء التغذية	Feed Water	ماء يدخل الوحدة لتغذيتها ولتعويض ما يخرج منها
ماء صرف (طرد)	Blow Down	ماء منصروف (أو مطرود) من الوحدة للمحافظة علي نسبة ملوحة المحلول بالوحدة .
ماء شرب	Potable Water	ملوحته من 100 – 500 جزء في المليون بالإضافة إلي خلوه من أية ملوثات مضرة للإنسان .
ماء مقطر	Distilled Water	ماء ناتج من عملية التقطير (التبخير والتكثيف)
ماء عذب	Fresh Water	ماء صالح للشرب
ماء مالح (ملحي)	Saline (Salty)Water	حين تزيد ملوحته عن ماء الشرب المسموح به (ملوحة أكبر من 1000 جزء في المليون) ويسمي ماء بئر (أو خفيف الملوحة) إذا كانت ملوحته من 1000 – 10.000 جزء في المليون . ويسمي ماء بحر إذا زادت ملوحته عن 30.000 جزء في المليون .
مائي	Aqueous	Aqua تعبير لاتيني يعني الماء (مائي) سواء من حيث اللون ، أو الطعم ، أو الشكل ، . . . . الخ
مبادل حراري	Heat Exchanger	هو جهاز لتبادل الحرارة بين مائع ساخن وأخر بارد . ويسمي مسخن إذا كان الغرض منه التسخين، ويسمي مبرد إذا كان الغرض منه التبريد ، ويسمي مكثف إذا كان الغرض منه التكثيف ، ويسمي مبخر إذا كان الغرض منه التبخير . . . . وهكذا .
مسخن المحلول الملحي	Brine Heater	هو مبادل حراري يستخدم مصدر حراري (كالبخار) لرفع درجة حرارة المحلول الملحي لأعلي درجة حرارة ممكنة (T.B.T) .
متعددة التأثير	Multi (Multiple) Effect	نوع من أنواع تكنولوجيا التحلية ، حيث يستفاد من الطاقة المتولدة من تأثيره لإنتاج بخار من التأثير التالي والأقل ضغط . . وهكذا.
موانع (مثبط) التاكل	Corrosion Inhibitors	مواد كيماوية تضاف بجرعات محددة لمنع (أو تقليل) عملية التآكل في المعادن .
محطة ثنائية الغرض	Duel Purpose (Co-generation)	هي محطات لتوليد الكهرباء وإنتاج الماء معا ، أي إنتاج نوعين من الطاقة الكهربية والحرارية .
محطة قوي	Power Plant	هي محطة أحادية الغرض وذلك لتوليد الكهرباء فقط .
مجموعة المواد الصلبة	Total Dissolved Solids (TDS)	هي عنصر تحديد ملوحة المياه . وتقاس بوحدات الجزء في المليون (PPM) وتقاس بمقياس التوصيلة الكهربية ومجموع الواد الصلبة تعادل حوالي نصف التوصيلة الكهربية لمياه الشرب .
مصدر حراري	Heat Source	هو مصدر طاقة حرارية خارجية مطلوب لمحطات التحلية الحرارية كقوة دافعة حرارية لعملية التقطير ، ويكون إما بخار ، أو ماء سخن ، أو غازات ساخنة ، . . . الخ
معالجة مياه	Water Treatment	هو تعبير لعملية تحويل أي ماء غير صالح للإستخدام إلي ماء صالح للإستخدام ، وتختلف حسب طبيعة مصدر الماء وطبيعة الاستخدام المطلوب للماء المنتج .

الكلمة (المصطلح) بالعربي	الترجمة الإنجليزية	توضيح مختصر
معالجة أولية	Pre-Treatment	هي عملية تجهيز ماء التغذية قبل دخوله الوحدة (بإزالة الغازات والمواد العالقة وإضافة كيماويات) حتى لا يؤثر سلبا علي المعدات بالتآكل ، والترسبات .
معالجة نهائية	Post Treatment	هي عملية تجهيز الماء المنتج من وحدة التحلية بالمواصفات المطلوبة للإستخدام .
مقاومة	Resistance	توجد مقاومة لانتقال الحرارة بالعزل ، أو مقاومة للتاكل (بموانع التاكل) وغيرها .
مكثف	Condenser	مبادل حراري الغرض منه تكثيف الأبخرة .
مواد مقاومة (ضد)	Anti	مثل مواد مقاومة للتاكل Anti Corrosion مقاومة للرواسب Anti Scale مقاومة لتون الرغوة Anti Foam
مولد	Generator	مثل : مولد بخار Steam Generator ، مولد كهربي Generator Electric
مياه جوفية	Ground Water	كالأبار والعيون
مياه ناتج التكثف	Condensate	ماء منقط ناتج من تكثف البخار .
معامل الأداء	Preference Suspended Solide (TSS)	العناصر (أو المواد) العالقة بالماء التي يمكن إزالتها بالترشيح
مقياس كثافة العكارة	Silt Density Index (SDI)	وهو مقياس يحدد ضرورة المعالجة الأولية والترشيح لإزالة العناصر العالقة حتي لا تؤثر سلبا علي وحدة التحلية خاصة بالأغشية .
مصادر المياه الطبيعية	Primary Water Resources (PWR)	كمية المياه الطبيعية لمجموعة من البشر من أنهار وأمطار ومياه جوفية طبيعية وغيرها .
محطة التحلية	Desalination Plant	تتكون من وحدة تحلية واحدة أو أكثر(لإنتاج كمية أكبر من الماء)
معدل السريان	Flow Rate	يقاس بوحدات حجمية مثل المتر المكعب في اليوم أو الكتلية مثل الطن / الساعة .
مواصفات	Specifications	(تختصر بـ Spec) ، وهي العناصر المطلوبة في عنصر ، أو وحدة ، أو مكونة ، أو نظام تشغيل .
مقطرات شمسية	Solar Stills	هي أبسط وأقدم طرق التحلية بالطاقة الشمسية وهي محاكاة للدورة المائية الطبيعية وتنتج حوالي (4-5) لتر في اليوم/متر2
ماء منتج	Product Water	هو الناتج والخارج عن أي محطة تحلية .
ماء مقطر	Distillate Distilled Water	ماء ناتج من عملية التقطير (التبخير والتكثيف)
مضخة	Pump	ألة دوارة لدفع السوائل ورفع ضغطها ، وتدار عادة بموتور كهربي أو توربين (غازي / بخاري) أو محرك ديزل .
ملفوف حلزونيا	Spiral Wounded	شرائط الأغشية ملفوفة حلزونيا لزيادة المساحة السطحية النفاذة مع تقليل حجم الغشاء .
حـــرف (ن)		
نسبة الإستعادة (الاستفادة)	Recovery Ratio	النسبة بين معدل الإنتاج للماء العذب إلي معدل دخول ماء التغذية ، ويتراوح في حالة التناضح العكسي من 35% إلي 45% لمياه البحار ، وحوالي 85% لمياه الآبار .

الكلمة (المصطلح) بالعربي	الترجمة الإنجليزية	توضيح مختصر
نسبة مرور الملح	Salt Passage	النسبة بين تركيز الماء العذب المنتج إلي تركيز ماء التغذية ، وتصل إلي حوالي 10 % .
نسبة طرد الملح	Salt Rejection	الفرق بين 100 % ونسبة مرور الملح (10%) ، وتصل إلي حوالي 90 % .
نازع (مزيل) الغازات	Deaerator	يوضع قبل وحدات التحلية الحرارية كجزء من المعالجة الأولية لمياه التغذية وذلك لإزالة الغازات الذائبة (والتي تساعد علي التآكل للوحدة) .
نفاذية	Permeation	إمكانية مرور عنصر من خلال الأغشية .
نسبة التركيز	Concentration Ratio	هي النسبة بين ملوحة الماء المالح (أو المحلول الملحي) إلي ملوحة ماء التغذية .
حـــرف (و)		
وحدة تحلية	Desalination Unite	هي مجموعة المكونات اللازمة لإنتاج كمية محددة من الماء
وحدات تجارية	Commercial Unite	تكنولوجيات تصل إلي حد المنافسة علي المستوي التجاري
حـــرف (ي)		
يورانيوم مخصب (خصب)	Enriched Uranium	هو يورانيوم به زيادة محددة في نسبة النظير 235 ، ويحتوي عادة علي 3.5 يورانيوم نشط 235 ، 96.5 % الباقي من اليورانيوم الخامل 238 .
يورانيوم طبيعي	Natural Uranium	هو اليورانيوم المنتج من المناجم الخاصة به ، ويحتوي طبيعيا علي نسبة 0.7 % من اليورانيوم النشط (235) ، وعلي الباقي 99.3 % من اليورانيوم الخامل (238) .